Leonardo Scopece

# Riprese Olofoniche e Ambisoniche

# Il sistema 3D-VMS

5

Serie di articoli, pubblicati in più numeri di Elettronica e Telecomunicazioni, trattano e approfondiscono una singola tematica. Lo scopo dell'iniziativa **LeMiniSerie** è di raccogliere tali articoli, con una veste tipografica unitaria che ne faciliti la consultazione e apportando correzioni e aggiornamenti ritenuti opportuni.

Questo è il quinto volume.

"Riprese Olofoniche e Ambisoniche - Il sistema 3D-VMS" raccoglie sei articoli pubblicati da agosto 2007 ad agosto 2011.

**LeMiniSerie** sono una iniziativa del
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della 
www.crit.rai.it

In copertina:
Tre sonde microfoniche.

*Questa raccolta è costituita da sei capitoli, corrispondenti ad altrettanti articoli pubblicati dal 2007 al 2011, relativi alle tecniche di ripresa audio olofonica e ambisonica e alle sperimentazioni realizzate dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica nel quadro delle attività coordinate dalla Direzione Strategie Tecnologiche della Rai.*

*Con l'avvento dell'alta definizione nel mondo consumer, nasce l'esigenza di fornire un audio multicanale, all'altezza dell'immagine video. Gli enti di radiodiffusione devono attrezzarsi per cercare di produrre in modo sempre più economico ed efficace una traccia sonora multicanale, che meglio sposi l'esigenza di una visione delle immagini avvolgente ad una immagine sonora spaziale tridimensionale in modo da rendere lo spettatore partecipe, all'interno della scena televisiva. Le tecniche di ripresa sonora stereofonica consolidate, le quali danno un risultato frontale e non tridimensionale, non sono sufficienti a garantire tale risultato.*

*A partire dal 2007 il Centro Ricerche ha valutato e sperimentato nuovi sistemi di ripresa sonora, avendo come obiettivi l'ottimizzazione dei costi di produzione, una semplificazione dei problemi tecnici e ad un interfacciamento con le attuali infrastrutture di produzione audio.*

*I primi tre capitoli sono dedicati alle sperimentazioni di ripresa con la tecnica olofonica.*

*Il primo capitolo illustra il sistema olofonico e le prime sperimentazioni effettuate dal Centro Ricerche nel 2007. Il secondo capitolo è dedicato alle sperimentazioni condotte da gennaio a luglio 2008 con il microfono Holophone H2-Pro, allo scopo di poter verificare la sua duttilità in varie condizioni ambientali e la bontà dei risultati ottenuti.*

*Il terzo capitolo riassume la presentazione a Torino nel 2009, in occasione degli 80 anni della Ricerca Rai e contemporaneamente al 61° Prix Italia, dei risultati ottenibili utilizzando il microfono olofonico per realizzare la ripresa audio multicanale associata ai futuri formati visivi, HDTV stereoscopica o con definizione quattro volte superiore (4K).*

*I successivi tre capitoli sono dedicati al sistema 3D-VMS, basato sulla tecnica Ambisonic. Questo sistema è frutto della attività di ricerca effettuata dal Centro Ricerche in stretta collaborazione con la società AIDA ed in particolare con il prof. Angelo Farina e l'ing. Andrea Capra del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Parma. Il sistema, brevettato, permette la ripresa multicanale utilizzando un sola sonda microfonica dotata di 32 capsule e la sintesi, sulla base della teoria Ambisonic, di un insieme di microfoni virtuali. Grazie all'uso di un joystick è possibile definire in modo semplice sia il polar pattern, sia il puntamento di ciascuno dei sette microfoni virtuali sintetizzabili.*

*Il quarto capitolo descrive, brevemente, la teoria ambisonic e gli elementi costituenti il sistema, oltre alla prima serie di sperimentazioni, atte ad individuare e definire i campi di applicazione.*

*Il quinto ed il sesto capitolo forniscono ulteriori informazioni sull'evoluzione del sistema e, con maggiore dettaglio, le prestazioni valutate sulla base delle sperimentazioni condotte nella seconda metà del 2010 e nel 2011.*

*Torino, settembre 2011*

*Leonardo Scopece*

*Cura editoriale, grafica e immagine: Marzio Barbero*
*Foto relative alle sperimentazioni: Enrico Cavallini*

# Acronimi e sigle

| | |
|---|---|
| **3D-VMS** | 3D - Virtual Microphone System |
| **ADAT** | in origine Alesis Digital Audio Tape, ora indica l'interfaccia ottica per il trasferimento dell'audio digitale (ADAT Optical Interface) |
| **AIDA** | Advanced Industrial Design in Acoustic |
| **CAT 5** | cavo di CATegoria 5 per Ethernet |
| **CAT 6** | cavo di CATegoria 6, adatto fino a 10-Gigabit Ethernet |
| **CTF** | Common Transfer Function |
| **DTF** | Directional Transfer Function |
| **DTS** | Digital Theater Systems |
| **EBU** | European Broadcasting Union |
| **ESS** | Exponential Sine Sweep |
| **EMIB** | Eigenmike® Microphone Interface Box |
| **FFADO** | Free FireWire Audio Drivers |
| **FIR** | Finite Impulse Response |
| **HRIR** | Head Related Impulse Response |
| **HRTF** | Head Related Transfer Function |
| **GUI** | Graphic Use Interface |
| **HOA** | High Order Ambisonic |
| **IID** | Interaural Intensity Differences |
| **IIR** | Infinite Impulse Response |
| **ITD** | Interaural Time Difference |
| **LFE** | Low Frequency Effects |
| **MATLAB** | MATrix LABoratory, ambiente per il calcolo numerico e relativo linguaggio |
| **MIDI** | Musical Instrument Digital Interface |
| **SDDS** | Sony Dynamic Digital Sound |

# Ravello

# Qualità Tecnica della Musica

Dal 15 al 17 giugno 2007 si è tenuto alla Villa Rufolo
di Ravello, la Città della Musica,
il 2° incontro dedicato alla Qualità Tecnica della Musica
organizzato dalla Direzione Strategie Tecnologiche della Rai.

All'incontro, realizzato con il patrocinio della Provincia di Salerno,
hanno partecipato docenti universitari,
operatori di comunicazione, musicisti ed
esperti di tecnologie in rappresentanza della ricerca e dell'industria.

Fra i contributi presentati dal Centro Ricerche Rai al convegno, che si è tenuto il 16 giugno, uno riguardava la ripresa olofonica.

Da sinistra: Antonio Bottiglieri (dirigente Rai)
Luigi Rocchi (direttore di Strategie Tecnologiche Rai),
Paolo Imperato (sindaco di Ravello) e
Luigi Nicolais (ministro per le Riforme e l'Innovazione nella Pubblica Amministrazione)

# OLOFONIA

## una ripresa sonora di tutto ciò che ci circonda

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Agosto 2007

### 1. Introduzione

Nel XIX Secolo Hermann von Helmholtz e lord Rayleigh avviarono gli studi sulla propagazione delle onde e il comportamento dell'energia sonora; con l'invenzione del microfono e del fonografo nel 1877 iniziò una nuova fase tecnologica che ha consentito di memorizzare su un supporto fisico gli eventi sonori. Col passare degli anni il microfono si è evoluto fino ad arrivare a quel meraviglioso strumento di cattura, dotato delle caratteristiche meccaniche, elettriche e fisiche che tutti coloro che operano nel campo professionale possono apprezzare. Contemporaneamente si sono evolute le tecniche per catturare nel modo più verosimile il mondo dei suoni da cui si è circondati.

Nascono così varie tecniche di ripresa sonora:

- **la monofonia**, riproduzione di una sola sorgente sonora utilizzando un solo microfono;
- **la stereofonia**, termine che deriva dalla composizione di due parole greche ***stereo***, solido, spaziale, e ***phōnía***, voce, suono, che, utilizzando almeno due microfoni, permette un ascolto più "aperto", più spaziale del sistema precedente, ma comunque limitato allo spazio compreso tra due altoparlanti frontali;
- **la quadrifonia**, un sistema stereofonico di registrazione e riproduzione contemporaneo su quattro canali. La ripresa quadrifonica si effettua ponendo di fronte alla sorgente sonora quattro microfoni, registrando, ad esempio, su quattro tracce separate di un supporto magnetico e riproducendo tramite quattro altoparlanti che "avvolgono" l'uditore. Ma il risultato ottenuto è abbastanza deludente rispetto alle aspettative, perché consente solo una riproduzione posteriore dei segnali frontali.

Da circa due decenni si è riesciti a riprodurre, sviluppando tecniche basate sulla simulazione fisica e sull'uso di algoritmi matematici, il suono nello spazio che ci circonda, utilizzando cinque o più altoparlanti.

### 2. Le tecniche per la ripresa stereofonica

Quando si vuole effettuare una ripresa sonora si hanno a disposizione varie tecniche che, a parte quella monofonica, utilizzano più microfoni, o microfoni stereo con l'ausilio di microfoni "normali" per "rinforzare" particolari zone della scena, zone riprese fuori fuoco con i soli microfoni stereo.

Fino agli inizi degli anni '80 la tecnica più utilizzata dai *broadcaster* è stata senza dubbio la tecnica multimicrofonica. Essa consiste nella ripresa con più microfoni a "copertura" molto stretta: è utilizzata soprattutto nel caso di una ripresa audio associata ad una video quando la scenografia ha

la precedenza dal punto di vista artistico. E' tuttora valida in programmi come il Festival di Sanremo, o nella ripresa di "zone orchestrali", che permettono di riprendere, ad esempio, i primi violini, i secondi violini, le viole, eccetera. Questa è l'unica tecnica che consente di avere il controllo pressoché totale sulla ripresa anche del singolo strumento in scena, basta aggiungere microfoni a sufficienza. Ci sono vari problemi da risolvere prima della messa in onda o della registrazione: il posizionamento fisico dei microfoni, la loro messa in fase, il loro esatto posizionamento virtuale tramite il pan-pot, l'equilibrio energetico tra le varie sezioni o i vari strumenti ripresi. Il risultato è un suono molto "pulito", presente, completamente "a fuoco", un segnale stereo sicuramente mono-compatibile, ma con un fronte piatto, non profondo.

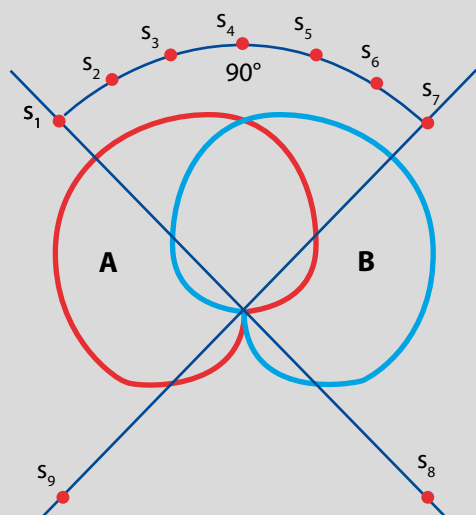
Per ovviare a questo inconveniente si è sviluppato un altro tipo di ripresa caratterizzato da una maggiore profondità di scena, in cui gli strumenti musicali risultato posizionati virtualmente dove in realtà si trovano, sul palcoscenico. A questo punto cambia totalmente modo di "sentire". E' preferibile avere tutti gli strumenti in primo piano, puliti e a fuoco, o dare all'ascoltatore la sensazione di realtà dell'evento sonoro? Difronte ad un'orchestra non percepiamo o in modo pulito tutti gli strumenti, ma il cervello, soprattutto quello di un "pubblico educato", è grado, grazie alla capacità di effettuare l'ascolto intenzionale, di discriminare e esaltare alcuni elementi sonori o uno solo.

Fig. 1 - Tecnica XY.

Si è cercato di ottenere è un prodotto virtuale più vicino alla realtà, più "impastato", più "totale", rinunciando chiaramente alla possibilità di controllare totalmente le singole componenti delle sezioni sonore. Questo risultato è ottenuto grazie a tecniche che utilizzano anziché semplici microfoni, singoli microfoni con doppia capsula a doppia membrana.

Le tecniche stereofoniche più utilizzate sono: l'XY, la Stereosonic, l'MS, la AB e la Testa artificiale.

Queste tecniche appartengono a due famiglie:

- **tecniche a coincidenza** (XY, Stereosonic, MS), che utilizzano microfoni a doppia capsula presenti sullo stesso corpo microfono e in asse tra di loro, quindi a coincidenza di fase e con risultato sempre mono-compatibile;
- **tecniche ad esclusione** (AB e la Testa artificiale), con microfoni che hanno le due capsule distanziate nello spazio, ossia non in asse tra loro, esiste quindi la possibilità che l'onda sonora, se arriva lateralmente al microfono, compia percorsi diversi per arrivare alle due capsule, quindi con fasi differenti, e di conseguenza non sempre il segnale ottenuto risulta mono-compatibile.

La **tecnica XY** utilizza un microfono a coincidenza. Le capsule sui microfoni a coincidenza sono tali per cui una rimane rigidamente ferma rispetto al corpo microfono, l'altra la si può ruotare con un angolo anche abbastanza ampio. Con questa tecnica, come per le altre che si stanno analizzando, l'angolo tra le capsule è quello canonico di 90°.

Ad esempio, il microfono Neumann SM 69 fet ha la capsula non fissa che può ruotare di 270° e per ognuna delle due capsule si può scegliere la direttività in modo indipendente tra omni-direzionale, cardioide o bi-direzionale.

Il risultato acustico della tecnica XY non è pienamente soddisfacente perché in ascolto il fronte dà l'impressione di essere abbastanza stretto, gli elementi $S_1$ ed $S_7$ (figura 1) non risultano uscire dai due altoparlanti posti in modo canonico a ±30° rispetto all'osservatore, ma formano un angolo di circa ±10°.

La **tecnica Stereosonic** si basa su un microfono a coincidenza, in cui entrambe le capsule selezionate hanno direttività a 8 o bi-direzionale e sono ruotate una rispetto all'altra di 90°. Il fronte sonoro in questo caso è ampio, va dall'altoparlante di sinistra a quello di destra, ma si verificano un paio di problemi: la sorgente $S_1$ (figura 2) viene ripresa con una sensibilità maggiore rispetto ad $S_2$ ed $S_3$, risultando così rientrante al centro rispetto al fronte, quindi questo è arcuato e rientrato al centro; le capsule posteriori sono in controfase rispetto a quelle anteriori, ma sono in fase tra loro, quindi c'è uguale sensibilità tra la coppia di lobi posteriore e la coppia di lobi anteriore: non è quindi possibile quindi posizionare il microfono in verticale, ma occorre rivolgerlo verso la scena sonora, presenta quindi problemi nei casi di elevato rumore ambientale.

La **tecnica MS** consiste nel selezionare una capsula in situazione bi-direzionale e l'altra, puntata verso il palcoscenico, in modo cardioide; l'angolo fra le due capsule è 90° (figura 3). Il segnale dell'8 viene sdoppiato e inviato su due ingressi di un mixer, messi in controfase uno rispetto all'altro, ottenendo così due segnali che chiamiamo –S e +S. Il segnale dell'altra capsula, che chiamiamo M, viene inviato ad un terzo ingresso del banco mixer.

Quando si miscelano i tre dosatori si ottengono le somme (M+S) ed (M-S), che corrispondono di fatto alla decodifica stereo che dà luogo ai segnali Left e Right. Quindi questa è una tecnica di "codifica" stereo, piuttosto che di "ripresa" stereo. Il risultato acustico è molto buono, ampio, profondo ma con una particolarità: le alte frequenze ad un livello un po' sostenuto sembra che "svolazzino", sembra che gli strumenti che le generano non siano localizzabili in modo preciso, ma è sicuramente un prezzo accettabilissimo da pagare in cambio della qualità ottenibile.

La **tecnica a Testa artificiale** è stata introdotta in Germania. L'idea di base è che, per effettuare la ripresa più reale possibile, occorra ricreare in campo di ripresa le stesse condizioni fisiche della presenza umana, quindi riflessione e diffrazione della testa dell'uomo. All'interno dei lobi auricolari (figura 4) sono inseriti due microfoni omni-direzionali quindi è una tecnica ad esclusione. Il risultato è buono per l'ascolto in cuffia, molto meno per ascolto in aria, ossia su altoparlanti, probabilmente perché per

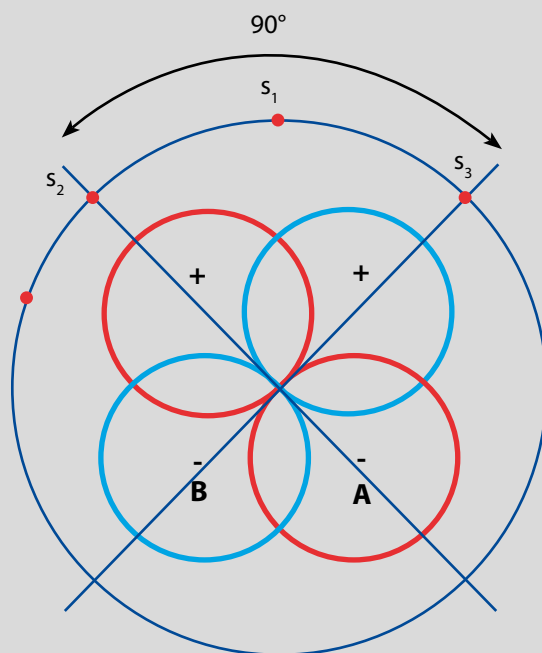



Fig. 2 - Tecnica Stereosonic.

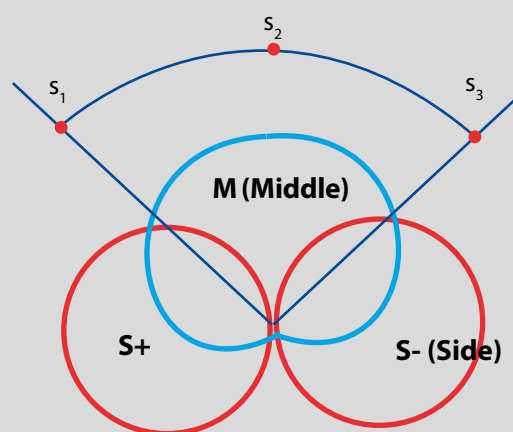



Fig. 3 - Tecnica MS.

Fig. 4 - Microfono Neumann KU 100.

l'ascolto in aria, oltre la riflessione e la diffrazione della Testa artificiale in fase di ripresa, gli stessi fenomeni sono generati anche dalla testa dell'osservatore, in fase di ascolto.

In cuffia si ha un ascolto più piacevole di quello che si può ottenere con altre tecniche, perché l'immagine sonora, invece di concentrarsi lungo la striscia che unisce i due padiglioni del mezzo trasduttore, e quindi dentro la massa cranica, si "visualizza" all'esterno della testa, rendendo l'ascolto più piacevole e meno stressante.

Infine consideriamo la **Tecnica AB**, ad esclusione, studiata e realizzata in Francia.

L'idea di base è simile a quella precedentemente descritta, ma si è evitata la doppia riflessione e la doppia diffrazione, non ponendo più una massa fisica tra i microfoni. Si è costruito un supporto per due capsule cardiodi poste a 17 cm di distanza, come mediamente sono poste le membrane timpaniche nell'orecchio umano, disposte a formate un'angolo di 110°, inclinazione media dei padiglioni auricolari (figure 5 e 6).

Il risultato è decisamente buono, spaziale, dà una profondità della scena molto reale e, timbricamente, il suono è ricco e gradevole.

Tutte queste tecniche di ripresa stereo, in presenza di un palcoscenico ricco di strumenti, non possono avere tutti i suoni a fuoco: per ovviare al problema ci si affida a microfoni detti di supporto o di rinforzo che vengono posizionati sulle sorgenti sonore sfocate, microfoni che bisogna dosare in modo opportuno rispetto al risultato della tecnica stereo di base, alcune volte è anche necessario inserire un ritardo sul percorso del loro segnale.

Le tecniche stereofoniche convenzionali, finora descritte, non consentono riprese da cui si ottengano suoni veramente spaziali, totali, perché riproducono virtualmente le sorgenti sonore in modo frontale, con un fronte più o meno aperto e più o meno profondo.

## 3. La tecnica Olofonica - Teoria

Agli inizi degli anni '80 il ricercatore italo-argentino Hugo Zucarelli applicò il modello olografico ai fenomeni acustici, incuriosito dal fatto che gli uomini sono in grado di localizzare la sorgente sonora senza indirizzare l'attenzione verso essa, e continuano ad avere questa capacità anche se sordi da un orecchio. Le sue conclusioni furono poi sviluppate e portarono ad un brevetto da parte di Umberto Gabriele Maggi, che insieme a suo figlio Maurizio, realizzò nel 1983 l'***holophone***, uno speciale microfono capace di riprodurre suoni in tre dimensioni. Il primo album realizzato con questa tecnica fu "Final Cut" dei Pink Floyd, al quale collaborò Maurizio Maggi in qualità di tecnico audio. Al tempo diede buoni risultati solamente in cuffia, dove i suoni avvolgevano letteralmente l'osservatore e la sensazione della realtà era impressionante. Solo negli ultimi anni la

Fig. 5 - Tecnica AB.

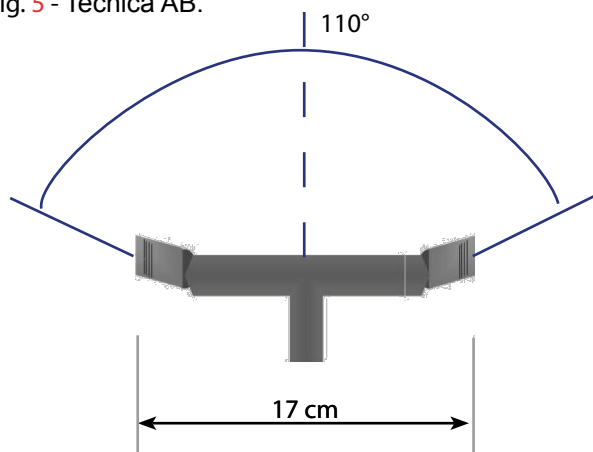
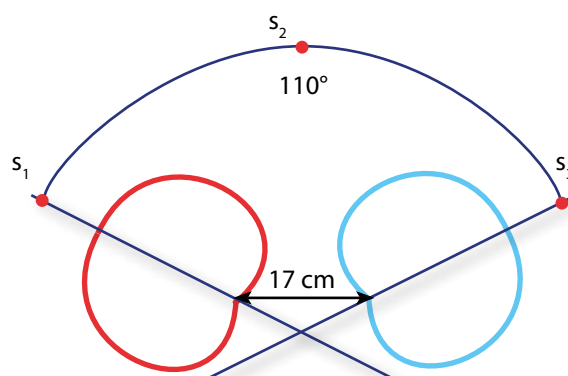



Fig. 6 - Figura polare della tecnica AB.

tecnologia ha portato alla realizzazione di microfoni che hanno permesso di ottenere un risultato molto buono anche con ascolto in aria.

L'etimologia della parola olofonia deriva dalle parole greche ***hólos***, tutto, e ***phōnía***, voce, suono.

Su quali principi si basa la tecnica olofonica?

Gli attuali microfoni Holophone si basano sulla teoria dell'HRTF, che è a completamento delle ricerche effettuate sulla teoria Duplex.

La teoria Duplex si fonda sulla stima del fenomeno della localizzazione spaziale di eventi sonori da parte delle orecchie umane. Gli effetti principali alla base di questo fenomeno sono: l'ITD e l'IID.

Per comprendere in cosa consistono i due effetti appena enunciati si osservino le figure 7 e 8.

Per comprendere ITD, si ipotizzi che una delle due sorgenti sonore nell'ascolto stereofonico, la destra, sia abbastanza distante dall'osservatore, in *campo lontano*, per cui l'onda generata possa essere considerata piana, indipendentemente che all'origine sia piana o sferica. L'angolo sotteso al vertice del triangolo isoscele con base **CB** (figura 7), con cui si rappresenta l'onda piana che arriva all'osservatore, può essere dunque considerato trascurabile. Inoltre la presenza della testa dell'osservatore è rappresentata come una sfera di diametro di 17 cm.

Fig. 7 - Ascolto sorgente destra in condizione stereo canonica.

Quando l'onda sonora è percepita dall'orecchio destro (**B**), essa non è ancora pervenuta all'orecchio sinistro (**C**), all'altro vertice del triangolo. Tenendo conto che la velocità dell'onda sonora in aria è circa 340 m/s, per percorrere la distanza **CA** di 8,5 cm l'onda impiega un tempo di 250 µs. Tale tempo non è ininfluente perché l'uomo riesce a percepire, come differenza binaurale, ritardi di tempo inferiori, fino a 10÷20 µs, e quindi a discriminare pochi gradi per quanto riguarda la direzione della sorgente sonora.

Con semplici prove si può dimostrare che per frequenze inferiori a 1500 Hz, per cui la lunghezza d'onda diventa paragonabile con la distanza tra le orecchie, l'orecchio destro, nell'esempio visto in precedenza, percepisce l'onda sonora in anticipo rispetto all'orecchio sinistro, e l'uditore percepisce chiaramente la posizione spaziale della sorgente, con un preciso angolo di azimuth. Nel caso si analizzino invece frequenze superiori a 1500 Hz, il ritardo interaurale porta prima ad una ambiguità e poi a problemi veri e propri di localizzazione spaziale della sorgente sonora.

A tali frequenze diventa fondamentale per la esatta localizzazione spaziale la percezione della differenza energetica dell'onda tra un orecchio e l'altro, e subentra come effetto l'IID.

Si consideri una sorgente sonora in campo libero, senza pareti. In queste condizioni ciò che può influenzare il sistema di analisi è il corpo umano: la testa, con le orecchie e il naso. Infatti, quando una sorgente è lontana, colpisce la testa e si deve tenere conto delle dimensioni della testa stessa, e da che direzione arriva l'onda sonora. Ricordando il campo di frequenze udibili, da circa 20 Hz a circa 20000 Hz, e conseguenti lunghezze d'onda in gioco, da 17 m a 17 cm, si capisce come un corpo in presenza dell'onda possa influenzare il percorso dell'onda stessa, a causa dei fenomeni della diffrazione, della riflessione e del decadimento di energia in ragione di $1/R^2$. Si supponga che la sorgente sonora si trovi sullo stesso piano della testa ma a 90° dalla posizione frontale,

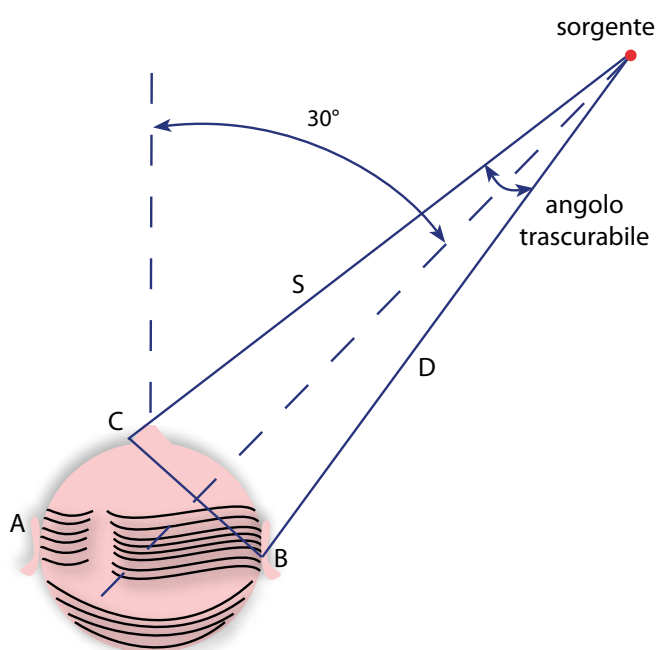
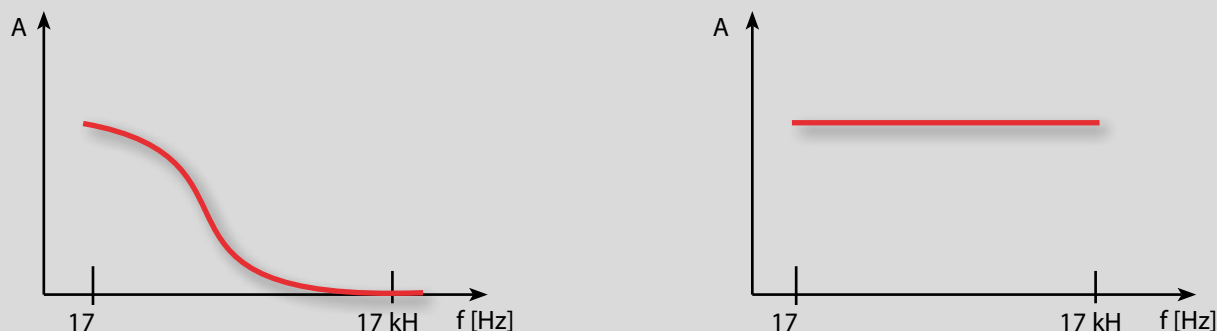



Fig. 8 - Differenza di ampiezza del segnale da destra in ascolto stereo canonico.

massima ricezione da parte di un orecchio e minima dall'altro; si supponga che la differenza di percorso dell'onda, da quando ha colpito un orecchio all'altro, sia di circa 25 cm. La differenza di livello di pressione sonora tra un orecchio e l'altro è di solo 0,4 dB, che si può considerare impercettibile. Se la sorgente è molto vicina alla testa ma in posizione casuale e non frontale, diventa sostanziale la differenza di livello tra un orecchio e l'altro. Inoltre la testa lavora come corpo mascherante per una certa gamma di frequenze. Ciò porta al fatto che un segnale con un certo equilibrio timbrico su un orecchio, quello più vicino alla sorgente sonora, non è lo stesso che percepirà l'altro orecchio (figura 8).

La figura 9 mostra la differenza di ampiezza misurata da Steinberg e Snow nel 1934, risultato che si basa su test effettuati con frequenze pure nel 1931 da Sivian e White.

La teoria Duplex spiega però solo la capacità di localizzazione spaziale della sorgente se questa si trova sullo stesso piano dell'osservatore, sul piano azimutale. Ma con questa teoria, se si tenta di localizzare una sorgente sonora sul piano mediano, ossia con angolo di elevazione differente rispetto alla testa, è possibile arrivare a percepire infiniti punti alla stessa distanza dall'orecchio con stesso ITD e IID, creando ciò che viene definito *cono di confusione* (figura 10).

Dal momento che si può capire la provenienza di un'onda nello spazio e non solo nel piano azimutale, si è ipotizzato che questa capacità sia dovuta ad un meccanismo di ascolto monoaurale, che tiene conto della risposta spettrale dell'evento sonoro da parte del canale uditivo e dalla conformazione del padiglione auricolare.

Questo ragionamento è complicato da formalizzare matematicamente. Le ricerche che si sono susse-

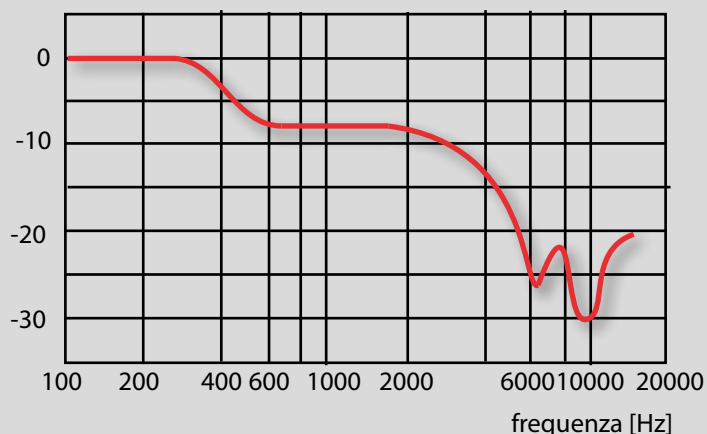



Fig. 9 - Differenza di ampiezza in funzione delle frequenze.

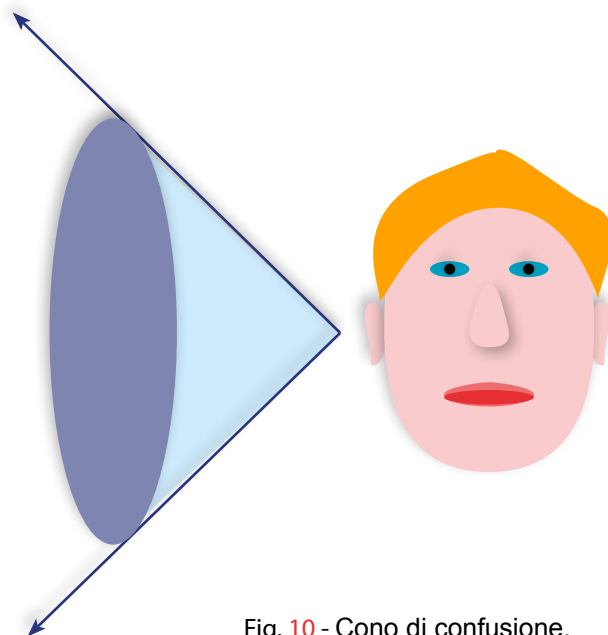
guite nel corso degli anni per comprendere come si possa localizzare una sorgente sonora nello spazio, hanno portato ad un data-base delle cosiddette HRTF, funzioni che tengono conto di come il suono proveniente da vari punti dello spazio viene filtrato dall'orecchio umano. Cioè, si sono registrate le risposte impulsive dell'orecchio ad eventi generati in vari punti dello spazio con varie angolazioni, per poi analizzarle e cercare di capire quali possano essere le relazioni che regolano questi risultati.

Le HRTF sono funzioni che, con opportuni ritardi introdotti in un segnale sonoro, permettono di capire la sua localizzazione spaziale. Per poter calcolare, quindi, la pressione acustica dovuta ad una sorgente qualsiasi x(t) nello spazio, bisogna conoscere la risposta all'impulso del timpano, la cui funzione è definita HRIR. La trasformata di Fourier H(f) di tale risposta è appunto la HRTF.

Fig. 10 - Cono di confusione.

Per elaborare un suono tridimensionale tenendo conto, quindi, dei fenomeni prima elencati, cioè l'ITD, l'IID e la modellazione della struttura spettrale a causa delle riflessioni, diffrazioni e conformazione del padiglione auricolare, si utilizza una coppia di filtri FIR di lunghezza appropriata. Con i FIR un segnale sinusoidale che li attraversa uscirà ancora sinusoidale, ma scalato in ampiezza e ritardato in fase in funzione della sua risposta in frequenza. Per ridurre la quantità di calcolo di detto filtro, che può arrivare ad essere dell'ordine di 128 punti, alcuni autori consigliano il filtro IIR a basso ordine, generalmente di 6÷12 punti. A parità di ordine, a differenza dei filtri FIR, i filtri IIR permettono risposte in frequenza più ripide, introducendo però sempre delle distorsioni di fase, ossia le componenti spettrali vengono ritardate in funzione della frequenza.

Le HRTF sono misurate su entrambe le "orecchie" poste su un manichino, fissando un angolo di riferimento rispetto alla testa, e tali funzioni sono misurate con sorgenti poste a diversi angoli azimutali e diversi angoli mediani, di elevazione. Le HRTF includono anche le informazioni di differenza di tempo interaurale e di differenza di intensità interaurale. Le ITD sono comprese nello spettro di fase del filtro FIR, mentre le IID sono comprese nella risposta in potenza del FIR.

Tornando al manichino, si utilizzano due microfoni inseriti nei suoi padiglioni auricolari e si inviano, tramite un altoparlante posto con un certo angolo di azimuth, un certo angolo di elevazione e ad una certa distanza, diversi stimoli che potrebbero essere anche dei semplici click o sequenze binarie pseudorandom. La funzione di trasferimento che si ottiene comprende, ovviamente, anche le funzioni di trasferimento degli apparati utilizzati per la misura, come i microfoni e gli altoparlanti. Queste funzioni di trasferimento sono chiamate CTF e vengono poi eliminate dalla misura della risposta complessiva del sistema.

Come risultato finale delle misure si ottiene un set di funzioni di trasferimento direzionale, le DTF, ognuna per una ben precisa posizione nello spazio. E' proprio questo set di funzioni che viene chiamato HRTF.

Le tecniche di rilevazione e di calcolo delle HRTF si basano su vari metodi, ma i due principali sono i seguenti.

Il primo con modelli sferici che simulano la testa umana. In questo caso, utilizzando una sorgente sonora piana ad una data frequenza, si può calcolare la pressione acustica su due punti della sfera dove si ipotizza siano localizzate le orecchie. Si effettuano vari calcoli a differenti frequenze e a diversi angoli azimutali e mediani, ottenendo così un set di HRTF.

Per il secondo modello si utilizza un manichino con due microfoni nei lobi auricolari. Si effettuano le misure in camera anecoica e con un gran numero di punti di generazione sonora nello spazio.

## 4. La tecnica Olofonica – Sperimentazione

Vari costruttori, da un po' di anni, hanno cominciato a soddisfare l'esigenza da parte dei broadcaster di poter effettuare riprese sonore che possano dare un risultato sonoro immediato dell'ambiente. Tra i prodotti che hanno questo scopo, il Centro Ricerche della Rai ha scelto di valutare e sperimentare un microfono della ditta canadese Holophone, che è stato utilizzato in trasmissione dalla Fox, NBC, ABC, CBS, CBC, e ESPN, oltre che dalla EA Sports per videogiochi, e da artisti famosi quali Elton John, Celine Dion e Iron Maiden e per riprese sportive (NBA Basketball, NFL Football e NHL Hockey).

La ditta Holophone produce tre modelli di microfoni olofonici: H2-PRO, H3D e H4 SuperMini.

L'Holophone H2-PRO (figura 11), scelto per questa sperimentazione, è un microfono professionale che ha sette capsule localizzate esternamente sul perimetro del supporto definito *testa*, e una interna che cattura la bassa frequenza. Può ottenere come risultato 5.1, 6.1 o 7.1 canali con suono surround. Tutti i suoni registrati tramite questo microfono sono discreti e succedono in tempo reale senza necessità di manipolazione da parte di mixer o quant'altro e ciò lo rende molto flessibile per l'utilizzo in studio, per la registrazione in formati surround e per tutti i formati consumer come Dolby, DTS e Circle Surround.

Le sette capsule esterne, come si è detto, sono poste sulla superficie esterna della testa: sono capsule omni-direzionali, modello "4060" della ditta danese DPA, che danno la configurazione direzionale, montati sull'H2 Pro, della figura 12.

Le sette capsule montate esternamente hanno un range di frequenza da 20 Hz a 20 kHz, mentre quella interna da 20 Hz a 110 Hz. La sensibilità è di 20 mV/Pa a 1 kHz con livello di pressione massima pari a 134 $dB_{SPL}$ prima del clipping.

Il suono surround dovrebbe essere riprodotto abbastanza fedelmente, anche prendendo le uscite dirette dal microfono e inviandole a degli altoparlanti.

Si ricordi brevemente il percorso storico per arrivare ad ottenere un suono veramente spaziale e totale. Nel 1940 Disney introdusse il suono surround nei cinema in occasione della sua produzione "Fantasia", utilizzando tre speaker dietro lo schermo e altri posti in posizione posteriore. Nel 1950 prese piede la registrazione stereofonica che parte dal presupposto che si ascolta con due orecchie. Poi si ebbero delle prove sulla quadrifonia, che non ebbe diffusione per assenza di materiale, costi elevati dei sistemi e pochissimo mercato. Nel 1970, con "Star Wars", George Lucas introdusse il Dolby Stereo che fu poi matricizzato portando ai quattro canali *left, right, center e rear*. Oggi si hanno sistemi Dolby Digital che impiegano sei sorgenti: *center, left, right, left surround, right surround*, LFE. Detta

Fig. 11 - Holophone H2 PRO.

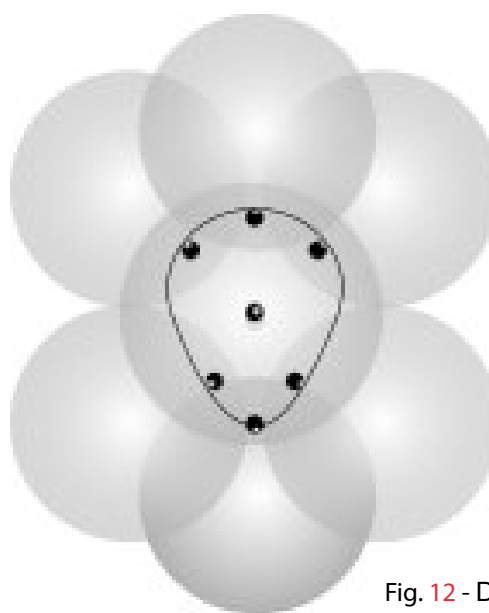



Fig. 12 - Diagramma polare dell'Holophone H2 PRO.

configurazione è conosciuta come 5.1. Un sistema in competizione con il Dolby è il DTS che fu introdotto in occasione del film "Jurassic Park". Altro sistema che supporta il 5.1, è il Circle Surround. L'IMAX usa il 6.1 aggiungendo un canale superiore al 5.1, configurazione supportata anche da Holophone. Solo recentemente Dolby, DTS e SRS Labs hanno esteso i loro sistemi alla configurazione 6.1 aggiungendo un canale posteriore centrale (Dolby Digital EX, DTS ES e Circle Surround II). I nfine la Sony ha introdotto un nuovo standard, SDDS con la configurazione 7.1, che ha tolto il canale superiore e ha introdotto il *left center* e il *right center*.

L'Holophone H2 PRO in uscita ha otto cavi bilanciati XLR così assegnati:

| Canali | Microfono Holophone H2 PRO |
|---|---|
| 1 | Left |
| 2 | Right |
| 3 | Center |
| 4 | LFE |
| 5 | Left Surround |
| 6 | Right Surround |
| 7 | Top |
| 8 | Center Rear |

Si illustrano ora le sperimentazioni effettuate dal Centro Ricerche con il microfono olofonico.

La prima sperimentazione aveva lo scopo di verificare la "pulizia" dei suoni degli strumenti durante l'esecuzione di un'orchestra sinfonica.

Presso l'Auditorium Rai di Torino, e con la collaborazione dei tecnici di Radiofonia, si è posto il microfono su un'asta all'altezza di circa 3,5 metri, rivolto verso il centro del palcoscenico, alle spalle del direttore d'orchestra (figura 13).

Le otto uscite del microfono sono state collegate al mixer (figura 14) che alimentava con la phantom le capsule a condensatore del microfono e preamplificava i segnali prima di inviarli in registrazione, singolarmente, in un registratore digitale (figura 15).

Una volta ottenuta la registrazione su otto tracce separate del nastro digitale, si sono acquisite tali tracce

Fig. 13 – Ripresa all'Auditorium Rai di Torino durante le prove della Sinfonia n. 2 in mi minore op. 27 di Sergej Rachmaninov, diretta da Kwamé Ryan.

Fig. 14 – Mixer Yamaha 01V 96.

Fig. 15 – Registratore digitale Tascam DA-98 HR.

tramite un Macintosh PowerPC G5, con quattro processori da 2,5 GHz cadauno, DDR2 SDRAM da 4,5 GB e velocità di Bus da 1,25 GHz. Con il programma "Soundtrack" si sono poi indirizzati i segnali sui 5.1 speaker in regia.

Il risultato ottenuto è qualcosa di inaspettato. Ci si attende un suono frontale, con pochissimo effetto surround. Riascoltando il risultato, invece, sembra di essere immersi all'interno dell'orchestra, circondati da essa, e i timbri dei vari strumenti sono abbastanza reali.

La seconda sperimentazione effettuata, è consistita nella ripresa di effetti allo Stadio Olimpico di Torino. La ripresa sonora è stata affiancata dalla ripresa video in alta definizione (figura 16).

In questa occasione, la ripresa è stata effettuata alle spalle di una delle due porte, leggermente spostata a destra rispetto alla porta stessa, sotto la curva che ospitava i tifosi juventini.  Le condizioni di ripresa erano vincolate dal permesso concesso dagli organizzatori.

Per poter registrare l'audio in telecamera, si è usato un codificatore (figura 17) che permette di codificare sei canali del microfono: si è fatta la scelta di escludere il center rear e il top, e le uscite si sono inviate come Total Left e Total Right, codificate, ai due canali esterni della telecamera come segnali stereo.

Fig. 17 – Codificatore CSE-06P della SRS Labs.

Fig. 16 – Riprese allo Stadio Olimpico di Torino durante la partita di campionato tra Juventus e Mantova. Si notino la *testa* olofonica e la telecamera Sony XDCAM HD PDW-F350L.

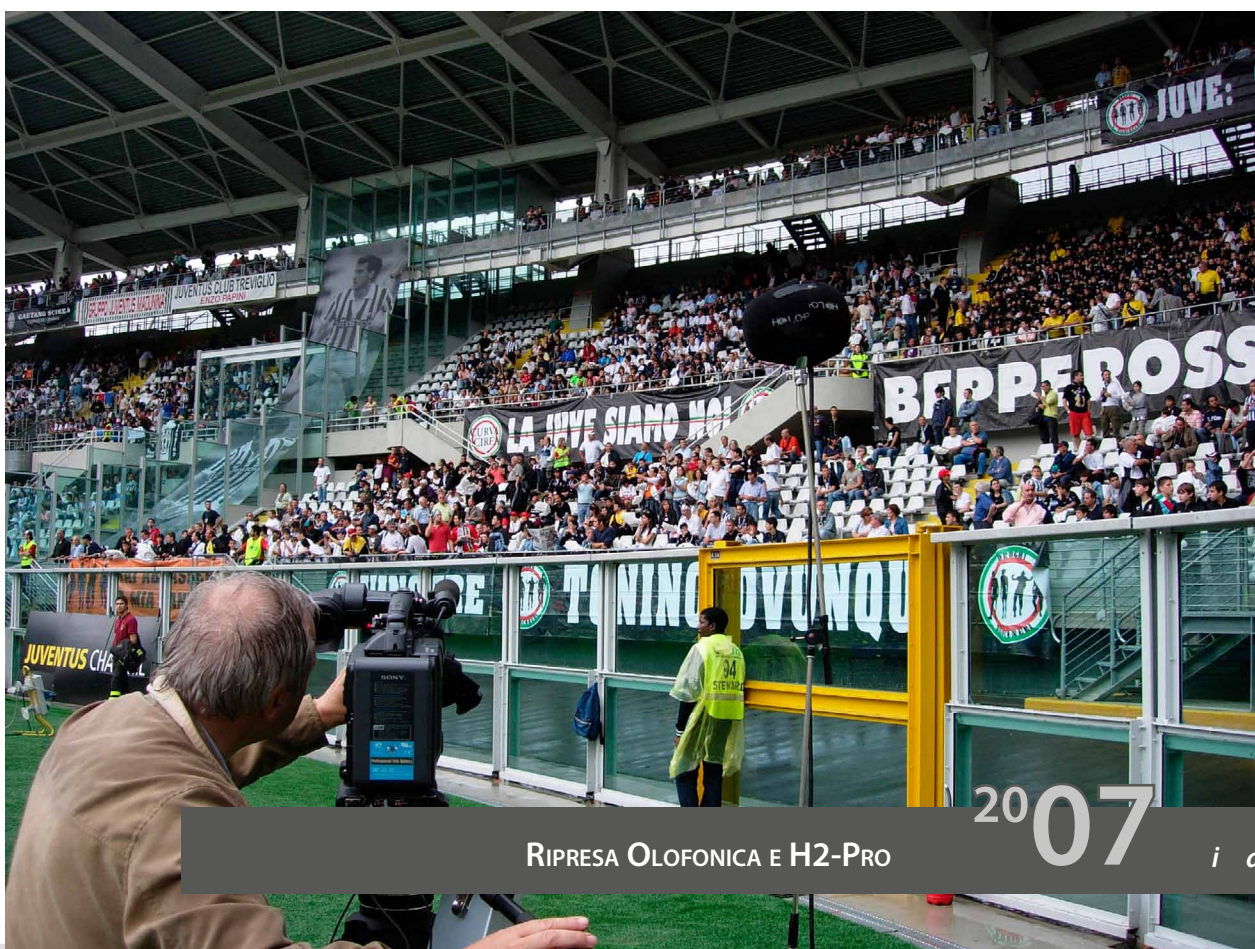



Fig. 18 – Decodificatore CSD-07 della SRS Labs.

Una volta in regia, i sei canali audio sono stati "riestratti" decodificandoli con il decoder (figura 18). Sia il codificatore che il decodificatore operano con il sistema Circle Surround.

Il risultato, in questo caso, è stato stupefacente per l'impressione che si è avuta sulla realtà degli effetti spaziali riprodotti.

## 5. Future Sperimentazioni

Il risultato ottenuto può essere definito inaspettato e originale, per quanto riguarda la ripresa musicale, così come si rivelò il passaggio dalla ripresa con tecnica multimicrofonica, con tutti gli strumenti presenti e a fuoco, alle tecniche stereo. L'obiettivo allora era di cambiare filosofia di ascolto, ossia dare un risultato più veritiero dell'evento sonoro: non si puntava ad una maggiore pulizia degli strumenti, bensì ad un maggior realismo dei suoni, come in presenza dell'orchestra.

Oggi, nella sperimentazione effettuata, si rivoluziona in qualche modo il tipo di ascolto, si è immersi nel cuore dell'orchestra, circondati dagli strumenti.

Per quanto riguarda la ripresa allo stadio, invece, si è ottenuto il risultato previsto, di realtà sonora spaziale.

Si intende proseguire la sperimentazione con una serie di riprese, sempre di musica classica, e pertanto sono stati presi contatti preliminari con il Centro di Produzione Rai di Milano.

Individuando posizioni opportune per il microfono, più in alto sulla scena e/o più lontano dal direttore d'orchestra, si verificherà se il risultato è conforme alle aspettative, cioè un risultato frontale, con un po' di effetto posteriore dovuto al riverbero dell'ambiente. Per quanto riguarda la "pulizia" degli strumenti, l'obiettivo è quello di far valutare i risultati a musicisti e ingegneri del suono, esperti atti a giudicare questo parametro molto soggettivo. Si ritiene che, anche con questa tecnica come per quelle stereo, se l'orchestra è disposta in uno spazio abbastanza ampio, siano necessari microfoni di "supporto" sulle sorgenti sonore distanti e leggermente sfuocate, da mixare in modo opportuno con le uscite dell'Holophone.

Sarà interessante effettuare un'altra ripresa allo stadio di calcio ponendosi questa volta, se possibile, in posizione centrale rispetto al campo e provando a "inseguire" con il microfono l'azione, seguendo i movimenti della telecamera. Questa tecnica è interessante perché non complica la vita agli addetti ai lavori e perché può essere utilizzata la stessa infrastruttura già esistente negli stadi, cavi e eventuale mixer: l'Holofone H2 Pro può essere posizionato facilmente in campo, su un semplice stativo. Comunque, se si vogliono riprendere gli effetti del colpo sul pallone o del palo colpito, è chiaro che oltre questo microfono converrà lasciarne in campo altri, ed è certamente indubbio il grande risparmio logistico e operativo per la ripresa totale degli effetti.

Altro evento sportivo di interesse, è una corsa ciclistica, seguendo gli atleti su un mezzo motorizzato, per sentire le voci e le grida del pubblico che "corrono" ai lati della strada mentre si avanza.

Altre possibili applicazioni sono per News e riprese in uno studio televisivo, anche se si prevede sia necessario comunque microfonare opportunamente i partecipanti.

In base ai primi risultati della sperimentazione, si ritiene che in molti casi con questa tecnica si possa ottenere un risultato sonoro spaziale, da utilizzare direttamente sugli impianti 5.1 o superiori.

L'avvento del digitale ha consentito al broadcaster di fornire all'utente servizi migliori e più coinvolgenti, sia in campo audio che video. Questo comporta cambiamenti significativi anche nella catena di produzione e nella relativa organizzazione del lavoro, con conseguenze sui costi.

La tecnica olofonica potrebbe contribuire ad ottenere risultati ottimali dal punto di vista della ripresa e dell'ascolto, con un minimo impatto sugli investimenti e la riorganizzazione delle risorse e dell'utilizzo delle infrastrutture tecniche già esistenti.

# "Il nuovo nella Musica"

## Qualità Tecnica e Piattaforme Innovative

Terzo appuntamento a Ravello, città della musica, organizzato dalla Direzione Strategie Tecnologiche della Rai, in collaborazione con RadioRai, RaiTrade, Rai Nuovi Media e Millecanali.

Si è tenuto dal 21 al 23 giugno 2008, con il patrocinio della Regione Campania, Provincia di Salerno e Comune di Ravello.

# 2 OLOFONIA

## sperimentazioni con microfono Holophone H2-PRO

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Agosto 2008

### 1. Introduzione

Nel precedente capitolo si riportano le prime valutazioni, basate su due riprese effettuate nel 2007, una relativa ad un concerto di musica classica presso l'Auditorium Rai di Torino e la seconda in occasione di una partita di calcio allo Stadio Olimpico di Torino. E' proseguita la serie di sperimentazioni per approfondire la tecnica e valutare i risultati ottenibili in una ampia gamma di condizioni di ripresa e di tipologia di prodotti.

L'esigenza di produrre una traccia sonora multicanale, in modo efficace ed economico, è particolarmente importante con l'avvento della programmazione HTDV, per completare l'effetto di coinvolgimento dello spettatore, ottenuto grazie all'alta definizione dell'immagine visualizzata su grande schermo.

In questo capitolo sono illustrate dieci riprese che hanno consentito di realizzare prodotti, costituiti da immagini in alta definizione e audio multicanale, destinati esclusivamente alla sperimentazione e valutazione tecnica.

Gli scopi principali della sperimentazione sono:

- Verifica della bontà microfonica.
- Verifica del miglior posizionamento del microfono nelle varie situazioni ambientali sperimentate.
- Realizzazione di un insieme di esempi di video streaming corredato da audio multicanale 5.1 da rendere disponibile sul sito www.qualitatecnica.rai.it in modo da dimostrare la fattibilità di un servizio di distribuzione di audio multicanale agli utenti.
- Realizzazione di un DVD BD, disco ottico bluray, in alta definizione e con audio in surround, ad illustrazione dei risultati delle sperimentazioni.

Prima di considerare in dettaglio le sperimentazioni effettuate, si vuole riferire sul sistema di registrazione che si è realizzato associato all'Holophone (figura 1).

Si ricorda che l'Holophone H2-Pro (figura 2) è un microfono professionale fornito di 8 capsule, sette delle quali localizzate sulla periferia del supporto,

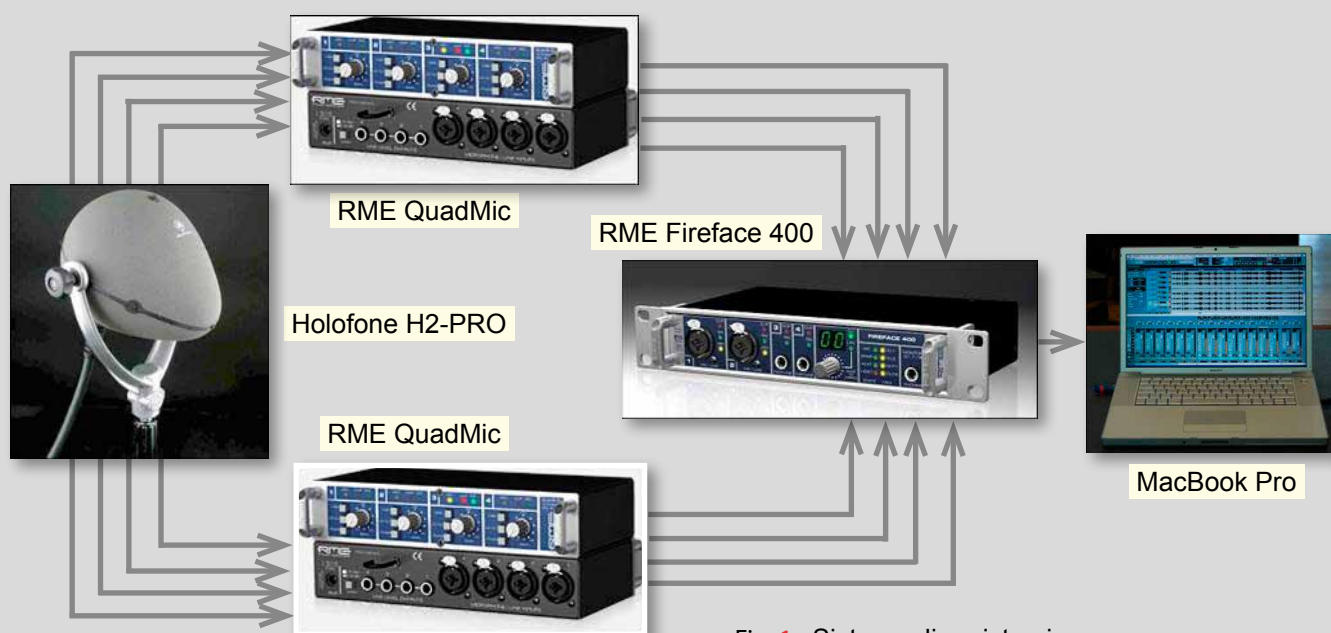



Fig. 1 - Sistema di registrazione.

Fig. 2 - Microfono Holophone H2 PRO.

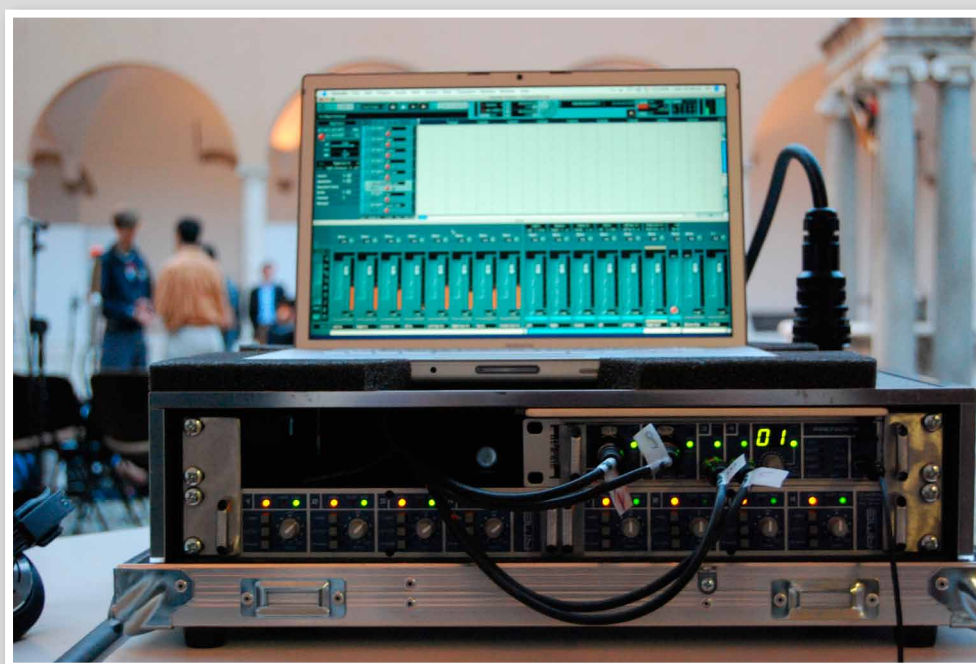



Fig. 3 - “Sistema leggero” con apparecchiature del sistema di ripresa e registrazione, contenuto nella valigia di dimensioni maggiori, mentre quella di dimensioni minori è utilizzata per alimentazione.

"testa", e una all'interno per la cattura delle basse frequenze. Si possono ottenere risultati surround in 5.1, 6.1 e 7.1 canali.

Il sistema consiste in due preamplificatori microfonici da 4 ingressi che ricevono gli 8 segnali dell'Holophone; da qui le uscite vanno ad un convertitore A/D la cui uscita, via firewire, è collegata ad un Macintosh portatile e si registra con il software Nuendo.

Per contenere il tutto è stata realizzata una "valigetta" (figura 3) facile da trasportare e da collegare al microfono con un cavo multipolare da 40 metri di lunghezza.

## 2. Sperimentazioni

A seguito dell'esperienza acquisita nel corso delle riprese effettuate a Torino nel 2007, nel 2008 furono organizzate una serie di riprese in varie condizioni ambientali e con varie tipologie di eventi, al fine di identificare il miglior utilizzo del microfono Holophone H2-Pro a seconda delle condizioni.

### 2.1 Cabaret a teatro

La prima sperimentazione è avvenuta il 28 gennaio al "Teatro della Cooperativa" a Milano. E' consistita nella ripresa di uno spettacolo di cabaret, dove gli attori erano "microfonati" (figura 4).

Ciò ha portato inevitabilmente a riprendere direttamente dalle casse acustiche presenti in teatro e quindi ad ottenere praticamente 8 canali pressoché monofonici.

Parte dei risultati delle sperimentazioni sono destinati alla pubblicazione nella sezione Laboratorio - Prove Tecniche del sito "La qualità tecnica", iniziativa della Direzione Strategie Tecnologiche della Rai.

In questo caso è stata dimostrata la fattibilità della codifica e distribuzione per streaming video e audio multicanale (si è scelta la codifica tramite WME, Windows Media Encoder). Il segnale 5.1, 48 kHz, 16 bit, a 440 kbps è fruibile con un PC corredato da una interfaccia per audio surround di basso costo (nel corso delle prove Creative - Sound Blaster) collegata a 6 cassette acustiche adatte ad una postazione PC.

Malgrado le limitazioni dovute alle condizioni di ripresa, è stato possibile ottenere un risultato sorprendentemente buono, riprodotto dalla postazione basata su PC, sia come pulizia sonora che come distribuzione sui canali surround.

Tale risultato è stato ottenuto operando in modo opportuno nella fase di post-produzione.

Fig. 4 - Milano: Teatro della Cooperativa.

Fig. 5 - Torino: Auditorium Rai.

### 2.2 Concerto sinfonico in Auditorium

La successiva sperimentazione ha avuto luogo in occasione delle prove generali della Sinfonia n. 6 in la minore di Mahler, diretta dal direttore Marc Albrecht (Auditorium Rai di Torino, 21 febbraio).

Anche in questo caso le condizioni di ripresa non erano perfette: non si è potuto posizionare il microfono all'altezza reputata ottimale, ossia a circa un paio di metri sopra la testa del direttore d'orchestra e rivolto verso il centro del palcoscenico. Il microfono è stato posizionato su uno stativo all'altezza del direttore, alle sue spalle (figura 5).

Il risultato è complessivamente buono: la pulizia timbrica degli strumenti vicini è molto veritiera, ma gli strumenti lontani, mascherati anche dalla testa del direttore, erano leggermente "fuori fuoco". Per ovviare a tale inconveniente, in condizioni "non sperimentali", sarebbe probabilmente bastato posizionare altri 2 o 3 microfoni di supporto a copertura delle ultime file di musicisti.

In definitiva si è ottenuto un prodotto surround molto soddisfacente, considerando l'obiettivo di ottenere un buon risultato senza che ciò implichi un intenso impegno nella ricerca di posizionamenti microfonici e nella lavorazione in post-produzione.

Tornando al risultato della ripresa, questa è "avvolgente", e uno degli obiettivi era verificare proprio la presenza di tale effetto.

E' stato realizzato anche un DVD per consentire il confronto di tre varianti nella codifica ac3:

1. in 5.1, dal microfono olofonico distribuendo il "Top" sulle 6 tracce surround, e il "Center Surround" ridotto di 3 dB e distribuito sul "Left Surround" e "Right Surround";
2. in 5.1, dal microfono olofonico ma considerando le 6 tracce classiche, quindi escludendo sia il "Top" che il "Center Surround";
3. in stereo registrato dai colleghi della Radiofonia in Regia Musicale.

Chi ha effettuato una valutazione soggettiva di questi risultati ha riscontrato che il punto 3. è certamente il più presente timbricamente e "piatto"; il punto 2. è il più realistico e l'1. dà un risultato molto reale ma più "avvolgente", più "caldo", più "pieno" di quello ottenuto al punto 2.

### 2.3 Partita di calcio

La terza sperimentazione è stata effettuata allo Stadio Meazza di Milano durante la partita di calcio Inter-Liverpool l'11 marzo.

Fig. 6 - Stadio Meazza: Inter-Liverpool.

La postazione audio era in tribuna stampa e il microfono era collegato tramite 25 m di multicavo audio, essendo stato fissato tramite uno stativo alla balaustra posta a tale distanza. Rispetto alla ripresa effettuata qualche mese prima allo Stadio Olimpico di Torino, la cui esperienza è stata riportata nell'articolo pubblicato ad agosto 2007, si è avuto il vantaggio di poter posizionare il microfono al centro dello stadio dal lato lungo del campo (figura 6).

Gli effetti sono stati "pieni", e la loro direzionalità riconoscibile. In post-produzione il "Top" lo si è distribuito agli altri 6 canali surround, il "Center" è stato diminuito di 3 dB per aumentare la spazialità frontale ed è stato diminuito anche il "Center Surr" di 3 dB sommandolo ai canali "Left Surround" e "Right Surround".

## 2.4 Spettacolo teatrale in studio televisivo

Il giorno successivo, il 12 marzo, si è effettuata una sperimentazione presso il Centro di Produzione Rai di Milano, Sala B.

I soggetti della ripresa erano Flavio Oreglio e un gruppo di attori e musicisti che collaboravano con lui. Qui si è potuto posizionare opportunamente il microfono e si sono registrati 6 sketch. Uno degli sketch ha portato 3 soggetti a sedersi da un lato di un tavolo presente in sala e Oreglio dall'altro (figura 7). Il microfono è stato posizionato in "testa" al tavolo con le capsule di sinistra verso i tre, e quelle di destra verso Oreglio. E' stato interessante notare come la direzionalità fosse ben rispettata e la voce del primo attore a sinistra, rientrando anche nella capsula "Left Surround", desse un contributo "posteriore" gradevole.

Fig. 7 - Centro di Produzione Milano: La bocciofila Voltaire.

Fig. 8 - Centro di Produzione Milano: Canzone.

Anche la ripresa di una canzone ha dato buoni risultati (figura 8). Si è potuto posizionare il microfono olofonico praticamente di fianco al microfono che il tecnico della sala aveva sistemato per Oreglio. Il riconoscimento della posizione degli strumenti e dei cantanti è stato chiaro; solo la fisarmonica era un po' "mascherata" dalla percussione perché era dietro la percussione stessa. Lo spazio disponibile non ha consentito ai musicisti di "allargarsi" e di posizionare la fisarmonica in modo da non essere nascosta da altri strumenti. Se si fosse alzato l'Holophone, che è stato posizionato all'altezza della bocca di Oreglio, probabilmente si sarebbe potuta riprendere meglio la fisarmonica, ma per contro la voce sarebbe stata leggermente sfocata.

## 2.5 Spettacolo in teatro

Quinta sperimentazione: "La Licenza", al Salone CRT di Milano, il 12 maggio.

E' consistita nella ripresa di una rappresentazione teatrale con 2 attori che si muovevano su un palco tutto di legno, quindi riverberante, in un locale con un soffitto abbastanza basso, alto circa 4 metri. Il microfono è stato posizionato ad uno dei tubolari che supportavano le lampade, a metà della scena ma non centrale. Anche in questo caso il microfono è stato collegato tramite un multicoppia alla postazione di registrazione.

Si è voluto effettuare la ripresa in modo tale che l'ascolto simulasse la posizione dell'osservatore come se fosse "dentro" la scena, quindi con movimenti e rumori che si espletassero tutt'intorno (figura 9). Per ottenere questo si è fatto un grosso lavoro di post-produzione, prima pan-pottando i segnali in modo da ricostruire la posizione centrale per il microfono, poi trovando i giusti equilibri di livello per mettere in evidenza i "giochi" di corse, rumori e andirivieni degli attori. Con l'ausilio di uno strumento che "monitorava" i livelli dei vari segnali si è riusciti a ricostruire abbastanza fedelmente la "scena sonora" reale (figura 10).

Il risultato dà l'idea di "full immersion" sonora: sembra di essere al centro del palcoscenico e di sentire gli attori e gli effetti che si muovono intorno a te, anche se non guardi l'immagine video.

Fig. 9 - Milano: Salone CRT.

Fig. 10 - Monitoria segnali surround.

Fig. 11 - Centro di Produzione di Torino: Melevisione.

## 2.6 Recitazione in studio televisivo

Ripresa durante una puntata di "Melevisione", in uno Studio televisivo al Centro di Produzione Rai di Torino, il 30 aprile (figura 11).

Qui, come si era ipotizzato, la ripresa non è stata soddisfacente per i troppi rumori ambientali: aria condizionata, motorizzati delle luci, e il microfono, a causa della notevole distanza dagli attori, necessaria ai fini di non "impallare" le telecamere, ha restituito voci sfocate.

## 2.7 Concerto in chiostro

La settima sperimentazione è stata effettuata l'11 giugno 2008 presso l'Università di Roma "La Sapienza", Dipartimento di Ingegneria, a conclusione dell'VIII Workshop "Tecnologie per la Musica" (Audio Digitale e Musica Elettronica).

E' stato registrato il concerto nel Chiostro di San Pietro in Vincoli dal titolo "Altro Mare" utilizzando diverse tecniche microfoniche: più microfoni del Gruppo Tematico per la Cinematografia Sonora dell'Audio Engineering Society, Sez. Italia, microfono Ambisonic da parte dell'Università di Ingegneria di Parma e Holophone H2-Pro da parte del Centro Ricerche Rai.

L'Holophone è stato posizionato leggermente distante dall'orchestra per non infastidire il pubblico presente (figura 12).

Il risultato è stato discreto, tenuto conto della distanza microfono-orchestra. Era presente anche un rientro dell'ambiente circo-

Fig. 12 - Roma: Chiostro di San Pietro in Vincoli.

stante il Chiostro (transito e rumori di auto e moto), percepibile soprattutto nei momenti di "piano" sonoro orchestrali; il fronte sonoro riprodotto non ha dato un risultato ampio, che si sarebbe potuto ottenere, a mio giudizio, con una disposizione dei musicisti meno centrale, con un fronte ampio e arcuato.

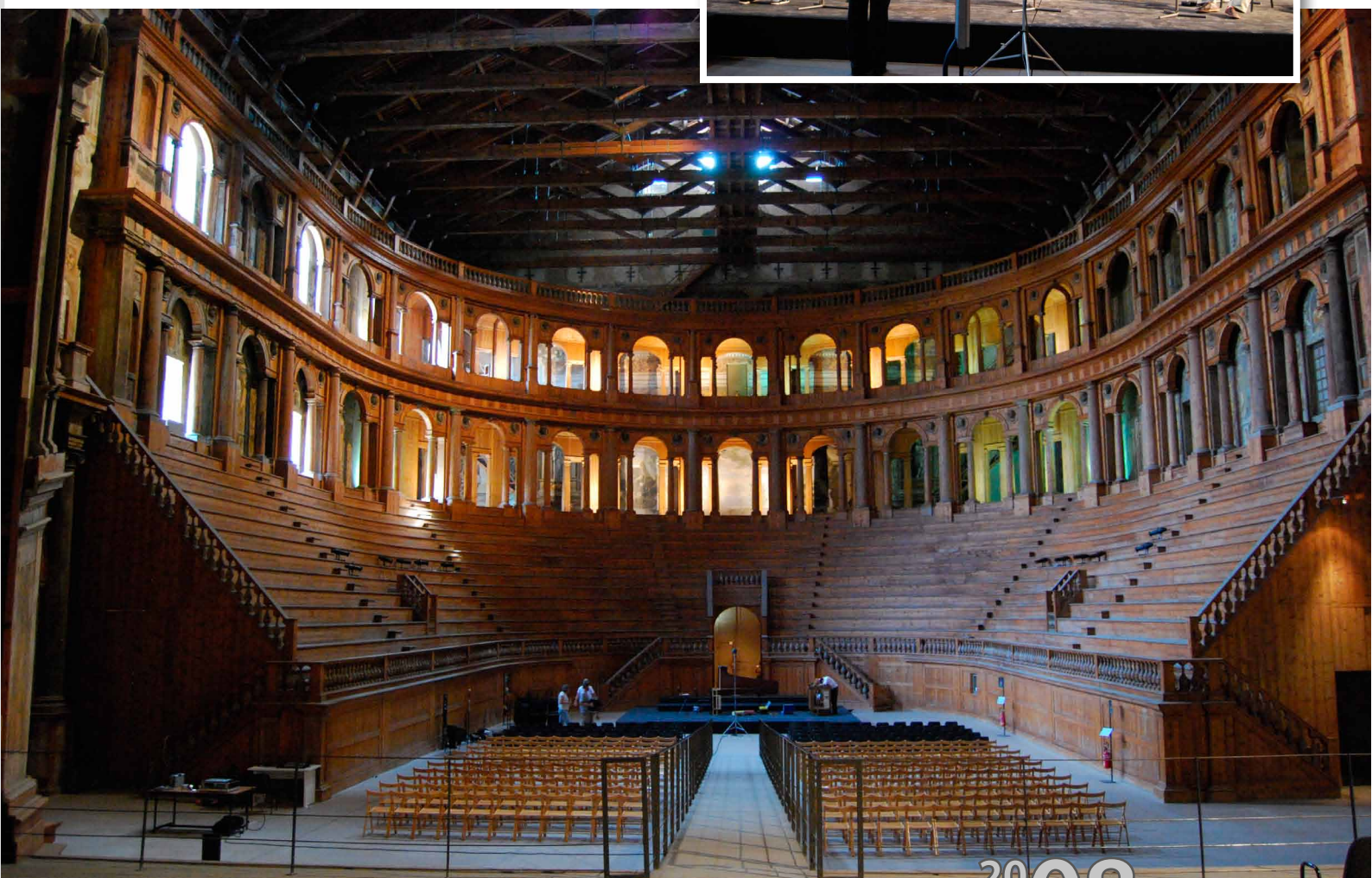
I materiali ottenuti con le varie tecniche utilizzate, saranno messi a confronto, probabilmente presso Radio Vaticana, verso la fine di settembre. Sarà interessante osservare questi risultati per poter capire quale tecnica riesce a restituire la miglior "pulizia" timbrica e la migliore spazialità dell'evento. Chi ha ascoltato il risultato della ripresa olofonica ha comunque affermato che è molto reale e "pulita".

## 2.8 Concerto in teatro storico

La successiva sperimentazione si è tenuta il 21 giugno, presso il Teatro Farnese al Palazzo della Pilotta di Parma, in occasione di un concerto con musiche di Claudio Monteverdi (figura 13), a cura della Soprintendenza per i Beni Storici, Artistici e Etnoantropologici di Parma e Piacenza.

L'ambiente è costruito interamente in legno e quindi molto riverberante, e la distanza tra il palco e la postazione di registrazione era intorno ai 30 metri.

Il problema della distanza palcoscenico-postazione è stato risolto semplicemente con un cavo multipolare da 40 m steso nel corridoio centrale tra le due ali di pubblico.

Fig. 13 -Parma: Teatro Farnese.

Invece, a causa dell'ambiente riverberante si è dovuto provare durante le prove generali per compiere alcuni aggiustamenti sugli equilibri energetici sonori. In particolare, si è cercato il livello opportuno sulla voce di una delle cantanti soliste molto "potente"; l'altro aggiustamento ha riguardato i segnali posteriori che, con livello delle capsule posteriori uguale a quello delle capsule frontali, davano un risultato incongruente, cioè il fronte posteriore era più alto del fronte anteriore. E' stato necessario attenuare il "Left Surr", il "Right Surr" e il "Center Surr" di circa 8 dB.

Il risultato così ottenuto è brillante, piacevole, "spaziato", con i contributi sia vocali che musicali ben presenti.

A riprova della versatilità del sistema di ripresa-editing, è stata prodotta una clip di dieci minuti da presentare il giorno successivo in anteprima, a Ravello, dove si è riscontrato apprezzamento sul risultato ottenuto, anche da parte di personalità del settore scientifico.

Fig. 14 – Ravello: Prima esibizione.

## 2.9 Saggi con sax

La demo è stata presentata a Ravello il 23 giugno, in occasione del Convegno "Il Nuovo nella Musica – Qualità Tecnica e Piattaforme Innovative" organizzato dalla Direzione Rai Strategie Tecnologiche – Qualità Tecnica.

In tale sede si è organizzata anche la nona sperimentazione. A conclusione del Convegno sono stati ripresi brani suonati dai Maestri Carla Marciano, Alessandro La Corte e Eugenio Colombo.

Il locale dove si è svolto il Convegno e le riprese audio/video è una Chiesa sconsacrata con un riverbero abbastanza accentuato, quindi si sono diminuiti i livelli delle capsule posteriori per non avere un audio sbilanciato all'indietro e irreale.

Fig. 15 – Ravello: Seconda esibizione.

Si è posto il microfono al centro del "palco" e, nella prima esibizione, Alessandro La Corte alla tastiera e Carla Marciano al sassofono erano posti agli estremi della stanza (figura 14), di fronte al microfono. La tastiera era amplificata e il suono è stato ripreso dall'altoparlante associato, mentre il sassofono era al "naturale" .

Per la seconda sperimentazione il "virtuoso" del sax Eugenio Colombo (figura 15) ha deliziato la platea realizzando, prima di un breve brano musicale, effetti impensabili per tale strumento. Il musicista si è spostato da destra a sinistra durante la sua esibizione per mettere in evidenza il fenomeno della localizzazione.

Il risultato, anche in ambiente come descritto in precedenza, è stato molto soddisfacente dando il senso della realtà. Inoltre, dal punto di vista timbrico, gli strumenti sono stati riprodotti molto fedelmente.

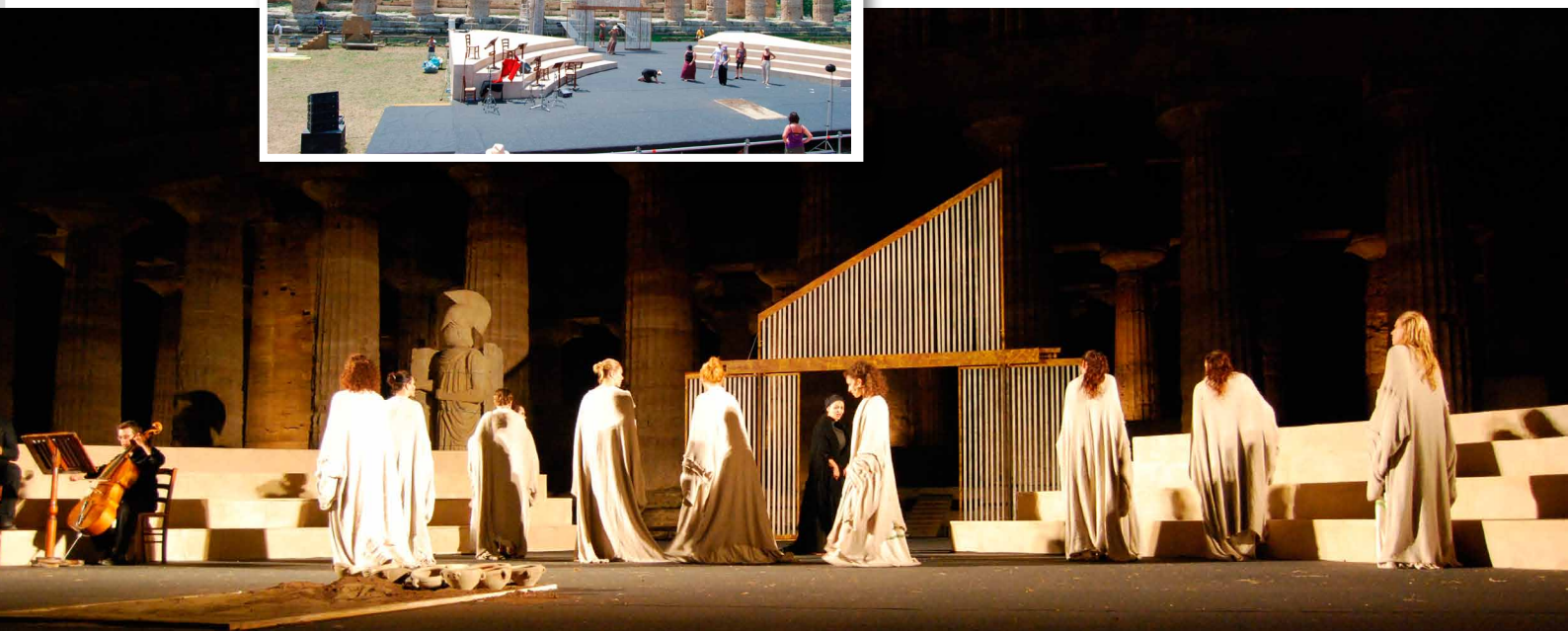
## 2.10 Spettacolo in sito archeologico

L'ultima sperimentazione di questa serie è coincisa con la prima nazionale di "Canti e Suoni dell'Orestiade", una sintesi e riscrittura teatrale della trilogia, l'unica completa di tutto il teatro greco, "Agamennone", "Coefore", "Eumenidi".

Lo spettacolo, concepito appositamente per Paestum, è stato proposto il 3 luglio, con replica il 6, nell'Area Archeologica, al Tempio di Nettuno dall'Istituto Nazionale del Dramma Antico (I.N.D.A.).

La sperimentazione di ripresa ha riguardato la rappresentazione del 3 luglio, poiché il 6 luglio l'Area Archeologica è stata interessata da altri due eventi interferenti, dal punto di vista sonoro, con quello in oggetto.

La tragedia è interessante, dal punto di vista della nostra sperimentazione, perché si articola in recitazione, canto e musica. Infatti, oltre che avvalersi di

Fig. 16 - Paestum: Tempio di Nettuno.

un cast di eccellenti attori, sia la recitazione che il canto erano accompagnati da un'ottima orchestra.

Il microfono è stato posto davanti al palcoscenico, al centro (figura 16). Gli attori erano "microfonati", quindi si sono riprese le loro voci da una coppia di altoparlanti ottimamente bilanciati come livello dal tecnico audio dell'I.N.D.A.. I musicisti, invece, piazzati a sinistra sul palco, suonavano senza amplificazione.

La platea faceva quasi da chiusura al proscenio e si notava un riverbero che alcune volte era accentuato, costringendo, quindi, a diminuire in postazione di 6 dB il "Left" e il "Right Surr", e di 9 dB il "Top" e il "Center Surr".

Durante la ripresa, inoltre, si è notato il canto delle cicale alle spalle del microfono, che rendeva il tutto spettacolarmente reale.

Un altro aspetto che si è notato, in riascolto, è come i fenomeni della diffrazione e della riflessione del corpo siano evidenti con la presenza del solo microfono olofonico in campo. Ossia, quando suona l'orchestra, si nota benissimo che quando questa emette frequenze alte, queste vengono percepite perfettamente da sinistra, dove è posta appunto l'orchestra; in presenza di frequenze basse, si è avvolti letteralmente da queste!

Il risultato della ripresa è stato molto soddisfacente, anche perché l'ambiente non era molto ampio, così come l'Anfiteatro di Siracusa, sede naturale di queste rappresentazioni e dove, probabilmente sarebbe interessante effettuare una sperimentazione, provando a "rinforzare" il suono aggiungendo altri microfoni, o utilizzando una coppia di microfoni olofonici.

## 3. Conclusioni

Gli obiettivi principali di questa serie di sperimentazioni con il microfono Holophone H2-Pro sono stati raggiunti, con risultati soddisfacenti rispetto alle aspettative.

La qualità timbrica in molti casi è stata verificata appieno, negli altri casi si sono identificate le cause delle limitazioni: la distanza microfono-sorgente, l'acustica ambientale, la non possibilità di posizionare il microfono nel punto ritenuto ottimale.

Si è verificata la fattibilità di postproduzione, partendo dai risultati delle riprese, per realizzare segnali surround codificati WME, con un bit-rate pari a 440 kbit/s. Il prodotto multicanale fruibile dall'ascoltatore, dotato di PC e sistema di riproduzione (scheda audio e cassette acustiche) a basso costo, si può ritenere buono dal punto di vista sonoro.

Infine si è realizzato, per la prima volta in Rai, un prodotto su BD, disco ottico blu-ray, in alta definizione video e surround audio, utilizzando le riprese effettuate con l'Holophone e telecamera Sony XDCAM HD.

Le sperimentazioni proseguiranno mentre continuerà la valutazione dei risultati fino ad ora raccolti. Un contributo interessante proverrà dalle prove soggettive delle riprese effettuate nel corso della settima sperimentazione di questa serie (Concerto in chiostro) a cura de "La Sapienza" di Roma per confrontare le diverse tecniche di ripresa applicate nell'occasione.

Si ritiene che i risultati acquisiti potranno essere un valido contributo nella valutazione a livello aziendale delle tecniche utilizzabili per la distribuzione di audio multicanale attraverso i diversi media.

## Ringraziamenti

Si ringrazia per la gentile e competente collaborazione i colleghi Rai del Centro Ricerche: Daniele Airola, Paola Sunna, Sabino Mantovano e Salvatore Cangialosi per il supporto prestato nella codifica dei segnali audio con WME, ed Enrico Cavallini per aver curato e collaborato per gli impianti in fase di ripresa/registrazione e per la realizzazione del "sistema leggero" di registrazione audio; del Centro di Produzione Rai di Torino: Sergio Zenatti e Giovanni Maria Corazza per le riprese video; della Direzione Rai Strategie Tecnologiche - Qualità Tecnica: Giovanni Maria Dettori e Luigi Ciorciolini per l'organizzazione in occasione degli eventi ripresi.

# 3 Ripresa Audio Multicanale

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Agosto 2009

## 1. Ripresa olofonica associata ai nuovi formati televisivi

Due delle dimostrazioni che le Direzioni Strategie Tecnologiche e Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai presentate per gli 80 anni del Centro Ricerche Rai in occasione del 61° Prix Italia a Torino erano incentrate sulle evoluzioni future dell'immagine televisiva: la televisione stereoscopica (HDTV-3D) e la televisione ad alta definizione in formato 4K (un numero di pixel quattro volte superiore a quello che caratterizza la HDTV).

E' naturale che all'evoluzione dell'immagine visiva sia necessario associare un'evoluzione altrettanto significativa dell'immagine sonora, affinché l'immersione e il coivolgimento nella realtà della rappresentazione sia veramente efficace.

Prove di ripresa HDTV-3V al Centro di Produzione Rai di Torino: a sinistra la telecamera e a destra il microfono olofonico. Sullo sfondo la Mole Antonelliana.

Con tale intendimento, alle riprese video nei formati HDTV-3D e HDTV-4K sono state affiancate riprese tali da ottenere un audio multicanale che offra una sensazione, un'emozione nuova a chi non si accontenta più del suono stereofonico, ma vuole ritrovarsi immerso nel mondo sonoro, oltre che in quello visuale.

Le riprese sono state effettuate mediante la tecnica olofonica.

## 2. Il microfono olofonico

Il microfono utilizzato nel corso di tali riprese è l'Holophone H2 PRO. Il microfono Holophone H2-PRO ha otto capsule disposte opportunamente su una speciale "testa", sette delle quali a banda piena

Diagramma polare dell'Holophone H2 PRO. La posizione delle capsule microfoniche è posta a confronto con la disposizione dei 5 diffusori nella configurazione indicata dalla raccomandazione internazionale ITU-R BS.775 che specifica con precisione le angolazioni.

collocate sul perimetro e una per le basse frequenze posizionata internamente.

Uno degli aspetti positivi di questa tecnica è che tutti e otto i relativi segnali in uscita dalla testa olofonica sono distinti tra loro, quindi non è necessario alcun decodificatore per accedere a ciascun segnale. Collegando questi otto canali ad un comune mixer è possibile andare direttamente in onda con un audio 5.1, 6.1, 7.1, o anche solo stereo 2.0, se ce ne fosse la necessità, semplicemente utilizzando i primi sei canali a disposizione e codificandoli con un opportuno codificatore.

Microfono Holophone H2 PRO durante le riprese in Piazza Castello a Torino.

Gli otto segnali in uscita dalla testa olofonica possono essere registrati separatamente.

Alcuni momenti della messa a punto dei sistemi di ripresa delle immagini e del suono.

Un primo piano della telecamera 3D.

Microfono olofonico e telecamera 3D.

Telecamera 4K.

Microfono olofonico e telecamera 4K.

La testa non è una sfera ma ha una forma più appuntita per ricreare le condizioni di impedenza della testa umana.

La disposizione delle capsule non è omogenea, ma si nota una concentrazione maggiore davanti che dietro la struttura; questo è stato fatto in funzione dei sistemi di ascolto surround disponibili sul mercato. Occorre dire infatti che la configurazione surround più diffusa al giorno d'oggi, che garantisce anche ottime qualità dal punto di vista della resa spaziale ricreata, è il surround 5.1.

La disposizione non omogenea delle celle microfoniche è funzione proprio della disposizione dei diffusori nel surround 5.1. Le capsule centrali posteriore e anteriore sono utili ad arricchire i due fronti. La capsula sulla "testa", infine, fornisce quelle caratteristiche di tridimensionalità che contraddistinguono questo microfono dagli altri presenti in commercio. Se si "panpottano" opportunamente i segnali registrati da questa capsula sui 5 canali a banda piena del 5.1, si riesce a ricreare un ascolto tridimensionale, nonostante non ci siano diffusori posti sopra la testa in quella posizione nella configurazione 5.1.

## 3. Sviluppi futuri

Il Centro Ricerche affianca le sperimentazioni di microfoni olofonici con studi e sperimentazioni di tecnologie ancora più avanzate, in collaborazione con l'Università di Parma.

## 4. Conclusioni

A maggio 2009 è terminato il periodo di sperimentazione della tecnica olofonica per le riprese audio multicanale in abbinamento a riprese HDTV. Nei mesi di luglio e agosto 2009 si à avviata l'applicazione di tale tecnica, in occasione delle realizzazioni sperimentali con immagini video HDTV-4K e HDTV-3D.

La ripresa olofonica è stata adottata per riprendere l'*ambiente* sonoro.

Ciò ha comportanto un *disagio*. quello riscontrato dalle troupe, costrette a lunghi periodi di *silenzio* forzato a causa della elevata sensibilità delle capsule del microfono H2-PRO.

Il *vantaggio*, indubbiamente, è stata la realtà dei suoni ripresi, e sbalorditivo è stato scoprire suoni che ad *orecchio nudo* non era possibile notare per il livello sonoro molto basso e non percepibile dall'orecchio

# 4 Sonda microfonica Sferica per Surround Sound

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Aprile 2010

## 1. Introduzione

Il desiderio di sentirsi, nel proprio salotto, *immerso* in un evento, coinvolto da immagini spettacolari e circondato da musica e suoni realistici, è sempre stata una forte motivazione per cercare di trarre il massimo vantaggio dai continui progressi in campo audiovisivo e multimediale.

L'utente già negli anni '90 era in grado di adottare sistemi di riproduzione audio per ottenere sensazioni uditive prossime a quelle percepite in una sala durante un concerto o uno spettacolo teatrale. L'*home video* nasce nel 1982, con l'introduzione del Dolby Surround. Lo spettatore ha la sensazione di essere al centro della scena, grazie alla presenza di almeno 5 diffusori, alimentati ciascuno da un canale audio, di cui due posizionati alle proprie spalle.

La qualità video disponibile trenta anni fa, alla nascita dell'*home video,* era ancora prossima, in termini di definizione, a quella disponibile alla nascita della televisione. I programmi erano a colori, in formato 4:3, e diffusi (secondo lo standard PAL) o registrati su cassetta (VHS). E' proprio a metà degli anni '80 che si sono avviate le prime sperimentazioni di HDTV: immagini, in formato 16:9, caratterizzate da un numero di elementi (pixel) cinque volte superiore rispetto a quelle della TV. La qualità video a cui si voleva tendere era già quella attuale, solo da pochi anni disponibili a casa dell'utente. La prima sperimentazione di trasmissione HDTV in formato digitale fu effettuata dalla Rai in occasione dei mondiali di calcio Italia '90. Si è però dovuto attendere vent'anni prima che la tecnologia degli schermi (Plasma, LCD...) rendesse oggi possibile, in termini di costo e ingombro, la fruizione nelle nostre case delle immagini HD e che i nuovi sistemi di diffusione digitale DVB, via satellite e terrestre, ne consentissero la ricezione domestica, grazie ai progressi in termini di efficienza nello sfruttamento della capacità dei canali.

Da un decennio l'evoluzione tecnologica sembra aver assunto un ritmo sempre più rapido e il prossimo passo verso l'immersione nella realtà virtuale

televisiva sarà possibile con la diffusione di programmi tridimensionali: l'avvento della televisione stereoscopica o 3D TV sembra prossima.

Apparentemente tali progressi non sembrano altrettanto rapidi e incisivi in campo audio.

Di fatto l'utente può allestire nel proprio soggiorno un sistema di riproduzione adeguato, sia per quanto riguarda le immagini, sia il suono: un grande schermo e un sistema di diffusione surround. E' l'*home theatre:* il coinvolgimento totale del telespettatore nella scena. Ma spesso alle immagini in alta definizione non si accompagna un audio di qualità altrettanto spettacolare.

Occorre agire su tutta la catena, partendo dal primo stadio, quello della produzione: i sistemi di ripresa video e postproduzione devono operare con segnali video in alta definizione, e i sistemi di ripresa e postproduzione audio devono essere in grado di codificare segnali surround.

Con l'obiettivo di individuare sistemi efficaci per produrre programmi dotati di surround, il Centro Ricerche Rai ha avviato tre anni fa un ampio programma di sperimentazioni. Lo scopo è la messa a punto di un sistema che consenta di effettuare riprese sonore e registrazioni con sistemi multicanale, utilizzando le infrastrutture già esistenti, con costi contenuti, per offrire all'utente, nel modo più semplice dal punto di vista operativo, un segnale surround a complemento di quello video in alta definizione.

## 2. Dalla sperimentazione all'innovazione

I precedenti capitoli hanno illustrato le tecniche di ripresa stereofonica e quella olofonica e le sperimentazione effettuate nel dal 2007 al 2009.

Per effettuare tali sperimentazioni, in ambienti differenti e diverse tipologie di sorgenti sonore, si è utilizzato un microfono già adottato da alcune emittenti del Nord America e sperimentato da celebri artisti: l'Holophone H2Pro.

Il microfono Holophone è dotato di 8 capsule, sette localizzate sulla periferia del supporto ed una all'interno, per l'acquisizione delle basse frequenze. Gli otto segnali in uscita dalla "testa" sono distinti fra loro: gli otto canali possono essere avviati ad un mixer o codificati come audio 5.1, 6.1, 7.1 o semplicemente stereo.

La tecnica di ripresa olofonica si aggiunge alle tradizionali tecniche di ripresa, che presentano specifiche caratteristiche del suono riprodotto:

- con la tecnica multimicrofonica il suono è tutto presente, a fuoco, pulito, ma senza profondità, un "muro" di suoni provenienti dagli strumenti disposti sulla scena.
- con le tecniche stereofoniche, dall'MS, alla Stereosonic, all'AB, alla XY, il suono comincia ad essere "profondo".

Le nuove tecniche multicanale, come quella adottata da Holophone, offrono un suono avvolgente, più naturale, meno "a fuoco" ma più reale rispetto a quello ottenibile con le tecniche fino ad ora utilizzate.

I risultati ottenuti con le sperimentazioni citate sono molto interessanti e hanno consentito di comprendere che il "modo di sentire" dei prodotti ottenuti con tecniche di ripresa multicanale cambia.

Resta ora da valutare quanto differisca la percezione da parte del pubblico nel passaggio dal modo di sentire fin qui offerto, artificioso, a confronto con il nuovo modo di sentire, più avvolgente e più reale, anche se meno "presente".

## 3. Il sistema basato su sonda microfonica H.O.A.

In base alle conoscenze acquisite e avendo valutato positivi i vantaggi della ripresa multicanale, il Centro Ricerche ha deciso di avviare un progetto per realizzare un sistema con caratteristiche innovative, basato sulla tecnica Ambisonic (vedere Appendice).

Questo progetto ha portato allo sviluppo a al brevetto di un sistema di ripresa e registrazione basato sulla Sonda Microfonica HOA (High Order Ambisonics) da parte di Rai e A.I.D.A., spin-off dell'Università di Parma.

Lo scopo del sistema è di riprendere la scena sonora ottenendo tre risultati:

- una ripresa multimicrofonica o, in alternativa, surround;

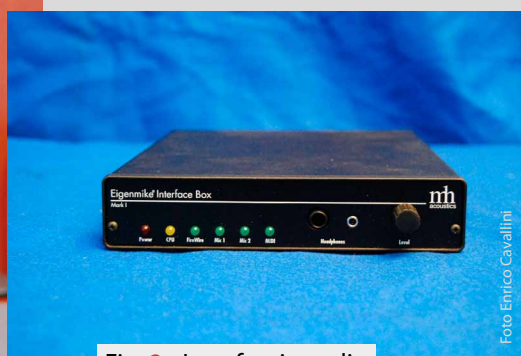
- poter effettuare uno zoom microfonico, ovvero cambiare la direttività, in modo dinamico e in tempo reale;
- poter posizionare i punti di ripresa nello spazio sia sul piano azimutale che mediano sempre in modo dinamico e in tempo reale.

### 3.1 La sonda H.O.A. e l'Interfaccia

La sonda microfonica (figura 1) è costituita da una sfera di 8,4 centimetri di diametro ed ha sulla superficie 32 capsule da ½" ad elettrete di ottima qualità.

Le capsule hanno una risposta in frequenza che va da 20 Hz a 20 kHz, con sensibilità di 32 mV/Pa e una dinamica prima del clipping di 135 dB.

All'interno della sfera stessa sono presenti i preamplificatori delle 32 capsule e i convertitori A/D.

I 32 segnali digitali sono multiplati e trasferiti, mediante un cavo ethernet di categoria 5 o superiore che può essere lungo fino a 140 metri, ad una interfaccia (figure 2) in cui possono essere memorizzati su un dispositivo USB per elaborazioni successive oppure trasferiti alla unità di elaborazione.

### 3.2 Unità di Elaborazione

Costituisce il cuore del sistema. Provvede all'elaborazione dell'audio, effettuando in tempo reale i complessi calcoli per l'emulazione dei filtri che consentono di sintetizzare i segnali corrispondenti a sette microfoni virtuali.

Ognuno di questi microfoni virtuali ha un tempo di latenza sufficientemente basso da non inficiare la ripresa, ed una buona qualità su tutte le frequenze della banda base audio. Inoltre, ciascun microfono è sintetizzatato in base a tutti i 32 segnali componenti, prelevati dalle singole capsule.

Il polar pattern può variare da bidirezionale, a omnidirezionale, a cardioide di vario ordine. Gli algoritmi utilizzati sfruttano il principio Ambisonic: l'informazione sonora in un punto dello spazio è ottenuta conoscendo la pressione e la velocità delle particelle in quel punto.

Attualmente Il sistema realizzato consente, per ognuno dei 7 microfoni sintetizzati, di elaborare in tempo reale le informazioni ottenute dalle 32 capsule e realizzare la sintesi di un microfono virtuale equivalente Ambisonic fino al sesto ordine.

### 3.3 Puntamento e joystick

Obiettivo del sistema sono semplicità operativa e ergonomia.

Fig. 1 - Sonda Microfonica H.O.A.

Fig. 2 - Interfaccia audio

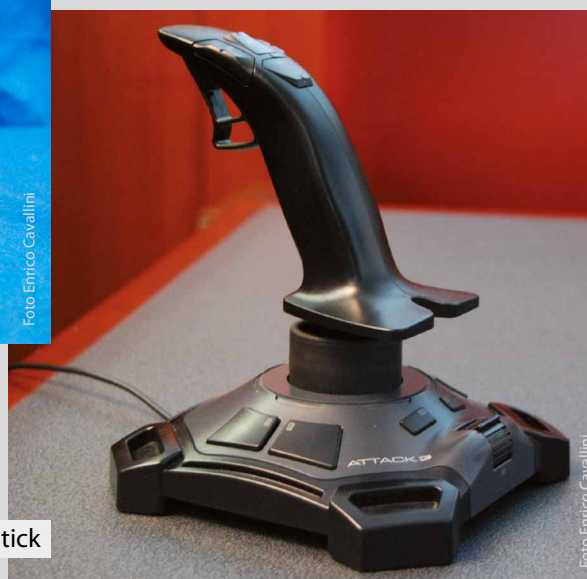



Fig. 3 - Joystick

Fig. 4 - Esempio di visualizzazione del diagramma polare relativo a due dei microfoni virtuali sovrapposti all'immagine della scena.

La semplicità operativa è ottenuta grazie all'interfacciamento del sistema di elaborazione con un joystick (figura 3) e con una telecamera wide-angle che permette di controllare il "puntamento" dei singoli microfoni virtuali.

Grazie a tali dispositivi è possibile definire in modo semplice sia il diagramma polare, sia il puntamento di ciascuno dei microfoni virtuali, indipendentemente l'uno dall'altro.

Con il joystick è possibile selezionare ciascun microfono, "inseguire" dinamicamente il soggetto sulla scena e decidere la direttività del microfono virtuale selezionato, visualizzando il corrispondente beam con un cerchio colorato, le cui dimensioni forniscono in modo intuitivo le sue caratteristiche, relative all'angolo di ripresa.

Le informazioni relative ai singoli microfoni virtuali utilizzati sono visualizzate su un monitor, sovrapposte all'immagine ripresa dalla telecamera (figura 4). E' quindi possibile decidere in tempo reale quale diagramma polare adottare per ciascun microfono, e la loro posizione spaziale.

Nel caso la scena sia statica o quasi, può essere utile usare, invece di una telecamera, una macchina fotografica e realizzare una fotografia panoramica, memorizzare le posizioni dei soggetti presenti in scena senza "inseguirli" potendoli richiamare facilmente, semplificando così enormemente il lavoro (figura 5).

## 3.4 La console di controllo

Per la gestione del sistema si utilizza una console di controllo, un notebook. Sulla sua memoria di massa possono essere inoltre registrati in tempo reale i 32 segnali provenienti dalla sonda e/o i 7 segnali sintetizzati corrispondenti ai microfoni virtuali.

L'applicativo di gestione del sistema consente di avviare i sette segnali in uscita dal sistema di elaborazione allo spazio di ascolto oppure ad un mixer, tramite la porta ADAT, o di memorizzarli su un registratore audio esterno.

I segnali memorizzati possono ovviamente subire un processo di postproduzione. In particolare i segnali corrispondenti ai 7 microfoni virtuali possono essere sintetizzati e modificati in postproduzione, a partire dall'insieme dei 32 segnali catturati grazie alla sonda H.O.A.

Fig. 5 - La scelta dei diagrammi polari e il puntamento per ciascuno dei 7 microfoni virtuali può essere effettuata e memorizzata con l'ausilio di una foto panoramica realizzata quando la sala è vuota o durante le prove. Nell'esempio un microfono del sesto ordine punta al centro della scena (3), due microfoni del 3° ordine (1 e 2) a ±30°, del 2° ordine (6 e 7) a ±60° e del 1° ordine (4 e 5) a ±110°. Tale scelta può essere modificata nel corso della registrazione, o in postproduzione, selezionando ciascun microfono virtuale mediante il joystick.

## 4. Applicazione del Sistema basato su sonda H.O.A.

La gamma di applicazioni che possono trarre vantaggio dall'uso del sistema sviluppato e brevettato è molto ampia: si ipotizzano qui alcuni esempi, corrispondenti a diverse condizioni di ripresa. E' in corso la sperimentazione, che deve coinvolgere i possibili utilizzatori, per verificarne la fattibilità e la flessibilità di impiego del sistema. E' cosi possibile trarre indicazioni utili per il passaggio dalla realizzazione prototipale a quella utilizzabile in produzione.

### 4.1 Ripresa di orchestra

Nel caso di una orchestra sinfonica, è possibile simulare una ripresa multimicrofonica, puntando, ad esempio, 6 dei 7 microfoni virtuali verso punti stabiliti dell'ensemble e controllando dinamicamente un settimo soggetto, canoro o musicale, che non è statico sulla scena.

Un altro esempio è la realizzazione di una ripresa codificata fino a 7.0 puntando 5 dei 7 microfoni virtuali frontalmente ed i rimanenti 2 posteriormente.

Segnali codificati 5.1, 6.1 o 7.1 possono essere ottenuti elaborando i 7 segnali a disposizione e ricavando da essi il contributo a bassissime frequenze LFE (Low Frequency Effect), oppure utilizzare un microfono aggiuntivo adibito alla ripresa di frequenze da 20 a 110 Hz.

### 4.2 Ripresa di evento sportivo

Allo stadio di calcio, si può ottenere un effetto ambiente in surround. E' pensabile che sia possibile, posizionando la sonda sul terreno di gioco a bordo campo, riprendere anche l'impatto del colpo sul pallone o di questo contro un "legno".

Durante una gara ciclistica, riprendendo la folla che "corre" ai lati degli atleti, si può ottenere un effetto sonoro che "viene incontro" e poi si "smorza" alle spalle.

### 4.3 Ripresa di evento teatrale

Analogamente al caso di ripresa di orchestra, anche in teatro è pensabile di puntare 5 o 6 microfoni virtuali in modo fisso e controllare i restanti con uno o due joystick: è quindi realizzabile una ripresa surround, codificata da 5.0 a 7.0.

### 4.4 Ripresa di evento televisivo

In un programma televisivo in studio, si possono porre una o due sonde in alto indirizzate verso il basso.

"Puntando" i microfoni virtuali corrispondenti a ciascuna sonda con una direttività del quinto o del sesto ordine si possono attenuare notevolmente i rumori ambientali normalmente presenti nello studio televisivo e provenienti dall'alto, quali quelli dovuti agli impianti di condizionamento e di movimento motorizzato delle luci.

### 4.5 Ripresa di evento radiofonico

Negli studi radiofonici si potrebbero effettuare riprese di spazialità che renderebbe l'utente più partecipe di quello che sta ascoltando, avendo la sensazione di "vedere" in uno spazio a 360° la posizione degli attori, speaker e musicisti presenti.

### 4.6 Ripresa di talk-show

L'inseguimento dinamico reso possibile dal joystick può consentire di riprendere, ad esempio nel corso di un talk-show, il giornalista che si muove nello studio e si avvicina agli ospiti, eventualmente "puntati" in modo statico dai restanti 6 microfoni, per interloquire con loro.

Ponendo la sonda in alto, sulla platea, è possibile "puntare" con il joystick i singoli componenti del pubblico a cui si desidera dare la parola.

### 4.7 Ripresa di una scena e riproduzione del risultato in un altro ambiente

Vi possono essere limitazioni nell'uso del sistema nel caso in cui si voglia riprendere ed irradiare il suono nello stesso ambiente: infatti, a causa dell'alta sensibilità dei microfoni della sonda, è alta la probabilità di innesco (effetto Larsen).

Può invece trovare ampie applicazioni l'uso del sistema per la ripresa dell'evento e la sua riproduzione in tempo reale in uno o più ambienti, anche distanti, garantendo l'*effetto presenza*.

## 4.8 Postproduzione

Si è detto che le informazioni sonore delle 32 capsule possono essere registrate ed essere quindi disponibili per nuove rielaborazioni. Ciò apre possibilità fino ad ora impensabili a quanto realizzabile in fase di postproduzione.

Sono ridefinibili, in postproduzione, le scelte che normalmente devono essere attuate in fase di ripresa. E' infatti possibile riposizionare i microfoni virtuali nello spazio scenico e ridefinirne la direttività, fino a raggiungere il risultato atteso.

La limitazione a 7 microfoni virtuali è legata alla attuale capacità di elaborazione in tempo reale e in futuro potrà aumentare; è già oggi possibile incrementare il numero di microfoni virtuali nella fase di postproduzione, ovviamente rinunciando alla possibilità di operare in tempo reale.

## 5. I prossimi passi

I risultati fino ad ora ottenuti sono molto promettenti. Le sperimentazioni in atto sono effettuate con un sistema prototipale: alcuni degli elementi componenti (interfaccia, unità di elaborazione, console) potranno essere integrati favorendo una maggiore trasportabilità e facilità d'uso.

La verifica, coinvolgendo gli utilizzatori, delle varie ipotesi di impiego, in situazioni ambientali differenti e con varie tipologie di generazione sonora, è indispensabile per individuare un sistema utilizzabile nella produzione radiotelevisiva, obiettivo della attività di ricerca e sviluppo avviato dal Centro Ricerche Rai.

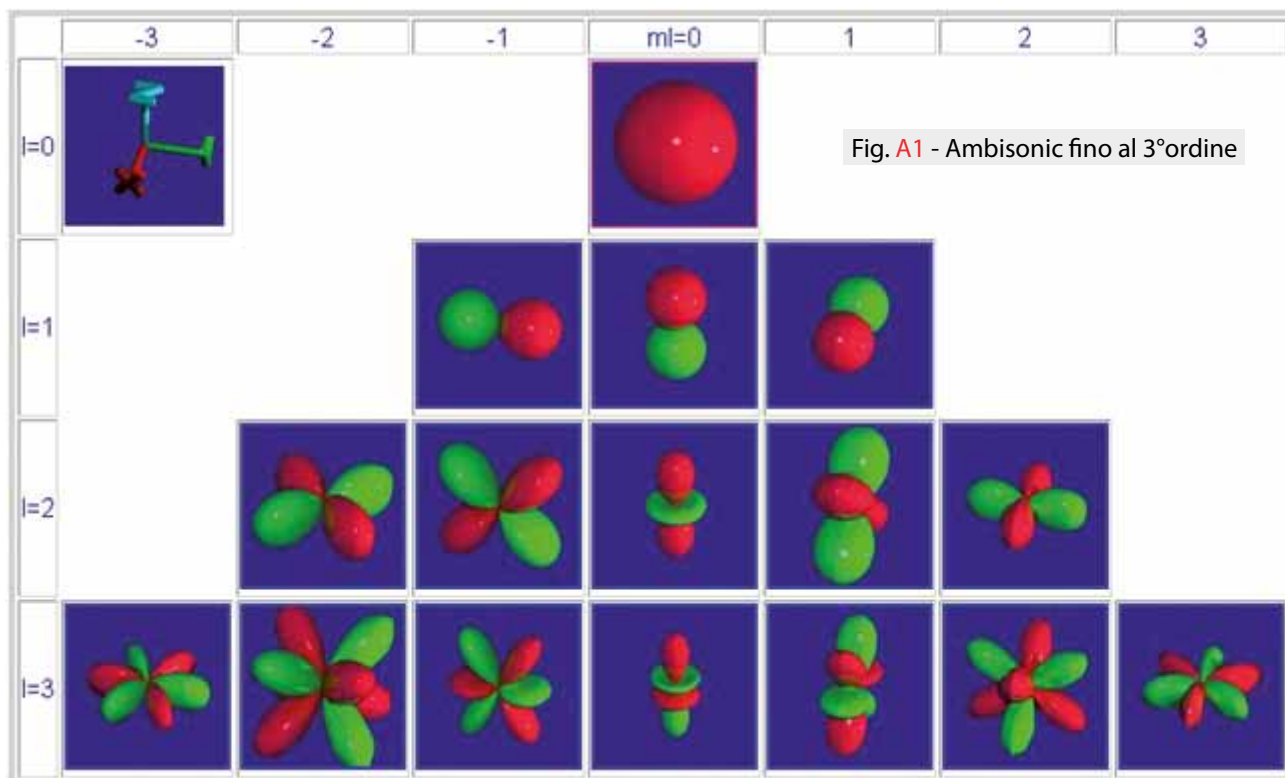
Il coinvolgimento dell'industria è essenziale per sviluppare un prodotto che, in base alle indicazioni fino qui ottenute, sembra avere notevoli potenzialità di impiego e diffusione.

## Appendice

### La teoria Ambisonic

L'Ambisonic è un metodo di registrazione, o campionamento, e riproduzione delle informazioni inerenti ad un determinato campo sonoro.

Conoscendo infatti pressione e velocità delle particelle d'aria in un determinato punto dello spazio, si posseggono tutte le informazioni necessarie per ricreare in modo fedele il campo sonoro. E' possibile sfruttare questi due parametri in due principali direzioni: sintesi di microfoni o riproduzione audio surround.

Fig. A1 - Ambisonic fino al 3°ordine

Negli anni ’70 Michael Gerzon realizzò la prima sonda in grado di campionare pressione e velocità in un punto, sfruttando una disposizione tetraedrica di capsule microfoniche con direttività a cardioide.

Sfruttando tre microfoni a figura di otto e un microfono omnidirezionale, teoricamente coincidenti, si potrebbe pensare di campionare le armoniche sferiche (funzioni direzionali) di ordine 0 e ordine 1: il segnale omnidirezionale dà le informazioni sulla pressione (W), i tre segnali rimanenti, orientati secondo gli assi cartesiani, sono proporzionali alla velocità delle particelle d’aria attorno al punto d’origine

Per ogni ordine “m” ambisonic ci sono (2m+1) componenti (figura A1).

Nell’impossibilità di avere a disposizione 4 microfoni coincidenti, Gerzon pensò di utilizzare 4 capsule con direttività a cardioide poste sulle facce di un tetraedro. La conversione dei segnali delle capsule (A-format) in quelli Ambisonics del 1° ordine (B-format) avviene tramite una semplice serie di somme e sottrazioni ottenendo una serie di segnali virtualmente provenienti da altre direzioni (figura A2):

W = C1+C2+C3+C4
X = C1+C2-C3-C4
Y = C1-C2+C3-C4
Z = C1-C2-C3+C4

Le capsule, anche in questo caso, non sono coincidenti: l’approssimazione introdotta si traduce nel disallineamento tra le capsule in termini di tempo/fase che porta alla “colorazione” (filtraggio) dello spettro dei segnali B-format.

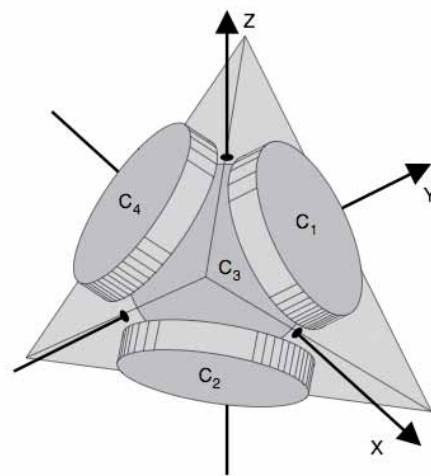



Fig. A2 - Microfono tetraedrico

# 5 3D - Virtual Microphone System

## Sonda Microfonica ad Elevata Direttività

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece (Rai), Angelo Farina e Andrea Capra (Università di Parma - Dipartimento di Ingegneria Industriale) pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Aprile 2011.

### 1. Introduzione

Il precedente capitolo illustra l'attività di ricerca avviata dal Centro Ricerche della Rai e dal Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Parma che ha portato alla progettazione e realizzazione di un sistema di ripresa e registrazione basato sulla tecnica Ambisonic. Il sistema utilizza una sonda HOA ed è stato denominato 3D-VMS. I risultati conseguiti hanno consentito la definizione di un brevetto, depositato dalla Rai e da AIDA, spin-off dell'Università di Parma.

Il sistema ideato sfrutta una sonda microfonica a più capsule per consentire una flessibilità di impiego nelle produzioni audio/video in campo broadcast non ottenibile con i modelli microfonici "discreti" disponibili sul mercato.

I modelli microfonici discreti possono essere montati direttamente su telecamera e il loro movimento può essere sincronizzato automaticamente al movimento camera, ma non sono in grado di zoomare nel campo sonoro.

Il singolo microfono in posizione fissa restituisce come risultato una ripresa sonora "statica", che non corrisponde alla dinamica video correntemente impiegata nel broadcast, dove l'immagine non rimane fissa per più di pochi secondi.

Il sistema 3D-VMS consente una ripresa multimicrofonica o, in alternativa, surround, consente di realizzare lo zoom microfonico in modo dinamico e d in tempo reale, consente di posizionare più punti di ripresa sul piano azimutale e mediano (fino a 7 microfoni virtuali).

Questo capitolo aggiorna il precedente, relativo alle attività del 2010, fornendo ulteriori dettagli sulle basi di funzionamento del sistema e considerazioni sulle sperimentazioni in diversi ambienti e campi di applicazione.

### 2. Microfoni virtuali

Negli ultimi anni sono state avviate diverse attività di ricerca per sviluppare tecnologie atte a registrare e riprodurre le proprietà spaziali del suono. Molti degli approcci proposti fanno uso di grandi schiere di microfoni e altoparlanti per elaborare i segnali sulla base di teorie matematiche complesse, evoluzioni del classico principio di Huygens.

Questi metodi si basano su rappresentazioni matematiche del campo sonoro, che viene decomposto in onde piane [1], in armoniche sferiche [2] o funzioni complesse di Hankel [3].

Qualunque metodo venga utilizzato, alla fine ci si può ricondurre al calcolo come sintesi di un numero

di **microfoni virtuali**, ciascuno dei quali alimenta un altoparlante nel sistema di ascolto.

L'approccio scelto **non** utilizza nessuna rappresentazione matematica del campo sonoro, vuole invece identificare una soluzione numerica in grado di ottenere direttamente i coefficienti dei filtri utili a sintetizzare ciascun microfono virtuale con direttività e direzione di puntamento arbitrari.

Sebbene questo approccio possa funzionare, in linea di principio, con qualsiasi tipo di geometria della schiera di microfoni, si è deciso di sviluppare il sistema utilizzando una sonda microfonica sferica costituita da 32 capsule di elevata qualità, recentemente disponibile sul mercato.

I 32 segnali sono filtrati impiegando un potente processore di convoluzione, capace di sintetizzare in tempo reale fino a 7 microfoni virtuali e di definire la loro posizione e direttività utilizzando come dispositivo di controllo un joystick o un mouse; la gestione del sistema da parte dell'operatore è facilitata dall'uso di una videocamera panoramica a grand'angolo e di una una interfaccia grafica di uso intuitivo.

La gestione può avvenire in tempo reale e con bassi tempi di latenza durante un evento dal vivo. In alternativa, i segnali "grezzi" delle 32 capsule possono essere registrati, insieme al video panoramico, consentendo la loro elaborazione e la sintesi dei microfoni virtuali in fase di post-produzione.

I microfoni virtuali sintetizzati possono essere altamente direttivi (con diagrammi polari costanti con la frequenza, e con apertura del fascio di ripresa molto definita come quella di un microfono "a fucile"); sono intrinsecamente coincidenti, in modo da miscelare i segnali senza problemi di comb-filtering; è possibile muovere continuamente i microfoni sulla scena per seguire attori e/o cantanti, o per dare voce al pubblico presente.

La registrazione di un concerto è solo uno dei possibili scenari in cui utilizzare questo schema; un altro fra gli scenari testati è quello teatrale.

Un'attenta analisi delle prestazioni del nuovo sistema microfonico ha mostrato che la risposta in frequenza, il rapporto segnale-rumore e la reiezione del suono al di fuori del fascio di ripresa sono migliori di quelli ottenuti impiegando algoritmi di elaborazione tradizionali applicati agli stessi segnali d'ingresso, o di microfoni altamente direttivi dedicati.

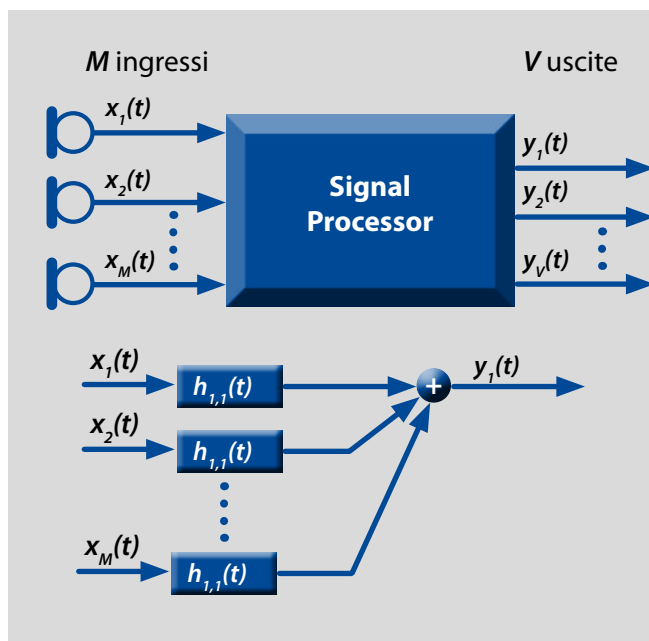



Fig. 1 – Schema di elaborazione dei segnali.

## 3. Descrizione del sistema

### 3.1 Filtri digitali per microfoni virtuali

Dato un array di trasduttori, si può utilizzare un set di filtri digitali per creare i segnali in uscita (figura 1). Nel nostro caso occorre convertire gli ***M*** segnali che arrivano dalle capsule in ***V*** segnali corrispondenti ai microfoni virtuali desiderati: è necessario utilizzare una matrice ***M***×***V*** di filtri FIR.

Assumendo $\boldsymbol{x}_m$ come segnali di ingresso di ***M*** microfoni, $\boldsymbol{y}_v$ come segnali di uscita di *V* microfoni virtuali e $\boldsymbol{h}_{m,v}$ la matrice di filtri, i segnali elaborati possono essere espressi come:

$$y_v(t) = \sum_{m=1}^{M} x_m(t) * h_{m,v}(t)$$

Dove * rappresenta la convoluzione, e quindi ciascun segnale del microfono virtuale è ottenuto sommando i risultati delle convoluzioni degli ***M*** ingressi con un opportuno set di ***M*** filtri FIR.

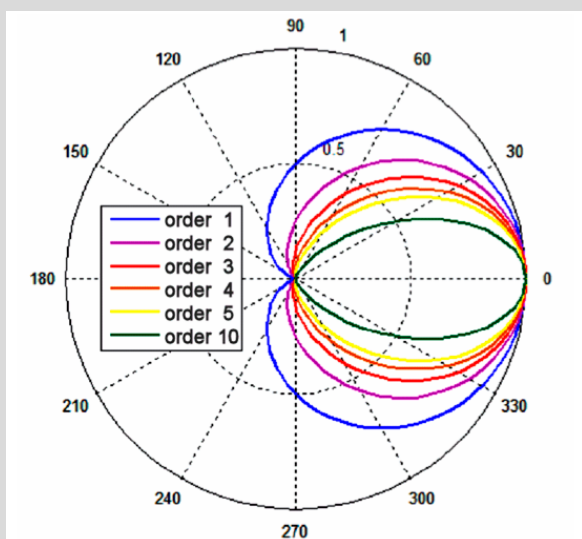



Fig. 2 – Diagramma polare di microfoni virtuali a cardioide di vari ordini.

In via di principio questo approccio permette di sintetizzare microfoni virtuali aventi un pattern di direttività arbitrario. In pratica si è deciso, per ora, di sintetizzare microfoni virtuali a cardiode di ordine superiore indipendenti dalla frequenza, come mostrato in figura 2, e specificare la direzione di puntamento in coordinate polari (azimuth ed elevazione).

I coefficienti dei filtri ***h*** sono normalmente calcolati seguendo una delle complesse teorie matematiche, basate sulla soluzione dell'equazione d'onda [1,2,3], spesso sotto alcune semplificazioni, si assume che i microfoni siano ideali e identici.

I criteri di progetto seguiti, invece, non sono basati sulla scelta di una teoria specifica: il set di filtri ***h*** sono derivati direttamente da set di misure, fatte all'interno di una camera anecoica.

E' costruita una matrice di coefficienti di risposta all'impulso in base alle misure; la matrice inversa è calcolata numericamente (impiegando tecniche di approssimazione, come il metodo dei Minimi Quadrati più la regolarizzazione); in questo modo le uscite dell'array microfonico sono in linea di massima molto prossime alle risposte ideali. Questo metodo corregge anche deviazioni del trasduttore e artefatti acustici (schermatura, diffrazione, riflessione, ecc.).

I dettagli matematici per il calcolo dei coefficienti dei filtri sono illustrati in [4].

## 3.2 Il modello microfonico

La sperimentazione descritta in questo articolo è stata realizzata usando l'array microfonico Eigenmike™ prodotto dalla MH Acoustics [5].

Questa sonda microfonica (figura 3) è costituita da una sfera di alluminio, di raggio pari a 42 mm con

Fig. 3 – sonda microfonica.

Fig. 4 – Il sistema microfonico nella camera anecoica.

32 capsule di alta qualità posizionate sulla sua superficie; i microfoni, preamplificati e convertiti da analogico in digitale sono all'interno della sfera e tutti i segnali sono trasferiti all'interfaccia audio utilizzando un cavo CAT-6 e protocollo Ethernet basato su A-net.

L'interfaccia audio è denominta EMIB: basata sul chip TCAT DICE II, opera con i sistemi operativi Windows, OSX e Linux utilizzando FFADO. La scheda dispone di due uscite analogiche in cuffia, un'uscita digitale ADAT e una porta word clock per sincronizzarsi con apparati esterni.

Il sistema è in grado di registrare 32 canali con una risoluzione di 24 bit, e con frequenza di campionamento di 44,1 o 48 kHz.

Il controllo dei guadagni dei preamplificatori avviene attraverso il controllo MIDI; è stata sviluppata una GUI in linguaggio Python per permettere un semplice controllo del guadagno in tempo reale, con nessuna latenza e nessuna interruzione.

### 3.3 Caratterizzazione sperimentale del modello

Le misure dell'array microfonico sono state effettuate impiegando il metodo ESS, allo scopo di ottenere 32 risposte all'impulso per ciascuna direzione di arrivo del segnale test.

Tali misure sono state effettuate all'interno di una camera anecoica, per evitare riflessioni indesiderate e per massimizzare il rapporto segnale/rumore.

L'altoparlante e la camera anecoica sono state gentilmente forniti dalla Eighteen Sound di Reggio Emilia, che ha anche provveduto all'uso di un altoparlante di alta qualità per le misure, come mostrato in figura 4.

Il sistema è stato ruotato lungo l'azimuth (di 36 passi) e in elevazione (di 18 passi) usando un'attrezzatura mobile per la rotazione azimutale e una piattaforma girevole per l'elevazione. In questo modo si sono ottenute 36x18x32 risposte all'impulso, ciascuna di 2048 campioni (a 48 kHz).

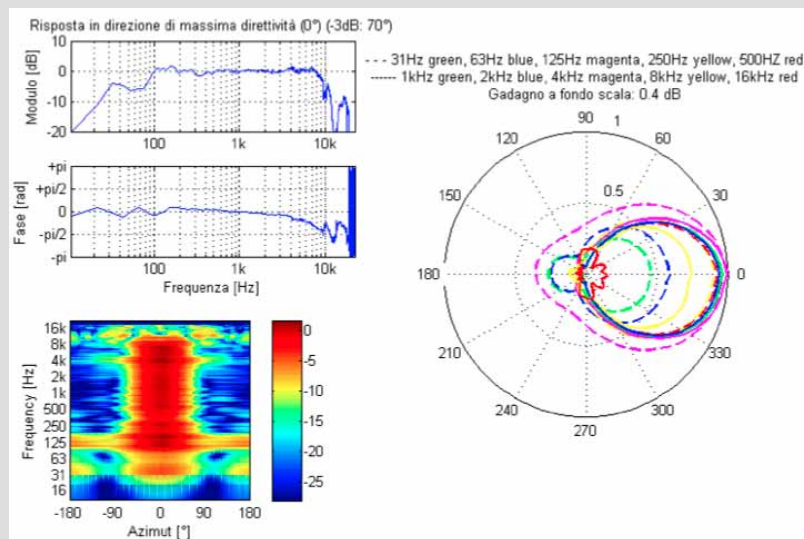



Fig. 5 – Cardioide del 3° ordine.

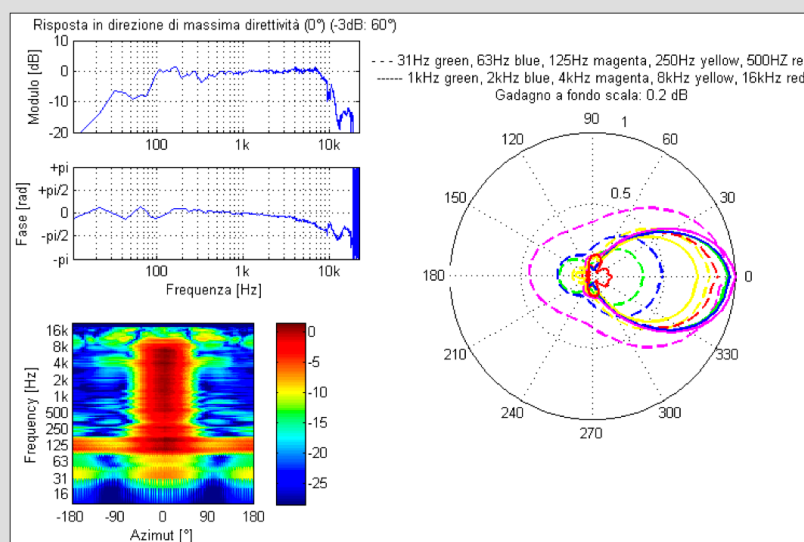



Fig. 6 – Cardioide del 6° ordine.

### 3.4 Sintesi e test dei microfoni virtuali

Per ottenere la matrice di filtri è stato realizzato uno script MATLAB.

La convoluzione della matrice dei FIR con i 32 segnali provenienti dalle capsule dell'array, deve fornire come uscite i segnali dei microfoni virtuali con le caratteristiche desiderate. Nelle figure 5 e 6 sono riportati risultati sperimentali che mostrano alcuni dei differenti profili di direttività ottenuti.

## 3.5 Architettura e Interfaccia Grafica per l'Utente

Affinché un sistema venga usato in produzioni broadcast deve essere molto "robusto", senza complessità non necessarie. Occorre disporre di un'elevata potenza di calcolo per generare ed utilizzare in tempo reale i filtri FIR con basso tempo di latenza. A tale scopo il sistema è dotato di un'unità di elaborazione dei segnali dedicata, contenente una scheda madre mini-ITX molto potente con un processore Quad Core. L'elaborazione dei dei segnali audio viene effettuata da questa unità.

Per il controllo visuale delle caratteristiche di ogni microfono virtuale viene utilizzato un notebook comunicante con l'unità di elaborazione tramite rete IP; per modificare in tempo reale le direttività e gli orientamenti dei microfoni virtuali l'utente ha a disposizione un joystick o un mouse (figura 7).

Lo schema in figura 8 rappresenta l'architettura software adottata nell'unità di elaborazione dei segnali.

L'interfaccia utente è progettata allo scopo di seguire gli attori o le sorgenti in movimento, dando modo di verificare la posizione dei segnali audio dal vivo. A questo scopo, la GUI (figura 9) permette di focalizzare i microfoni su uno flusso video partendo da una camera di sorveglianza panoramica, posta in prossimità della sonda microfonica.

Fig. 7 – Componenti hardware del sistema. a Sonda microfonica, b interfaccia EMIB, c Unità di elaborazione dei segnali, d console di controllo (notebook), e dispositivo di puntamento (joystick); f cavo CAT 6, in questa applicazione può operare fino ad una lunghezza di 140 m, g interfaccia ottica ADAT, h interfaccia firewire, i collegamento via cavo Ethernet CAT 5 o WiFi, l collegamento via cavo o wireless.

Interfaccia audio
(firewire)

Socket
TCP/IP

FFADO
driver firewire

BruteFIR
RealTime

Convolver
RealTime

Messaggi di
controllo

bflogic_em32.c

Brute FIR
Logic Module

Filtri
sintetizzati

Segnali provenienti
dalle capsule
(32 canali)

Segnali relativi
al microfono virtuale
(7 canali)

JACK
Audio Connection Kit

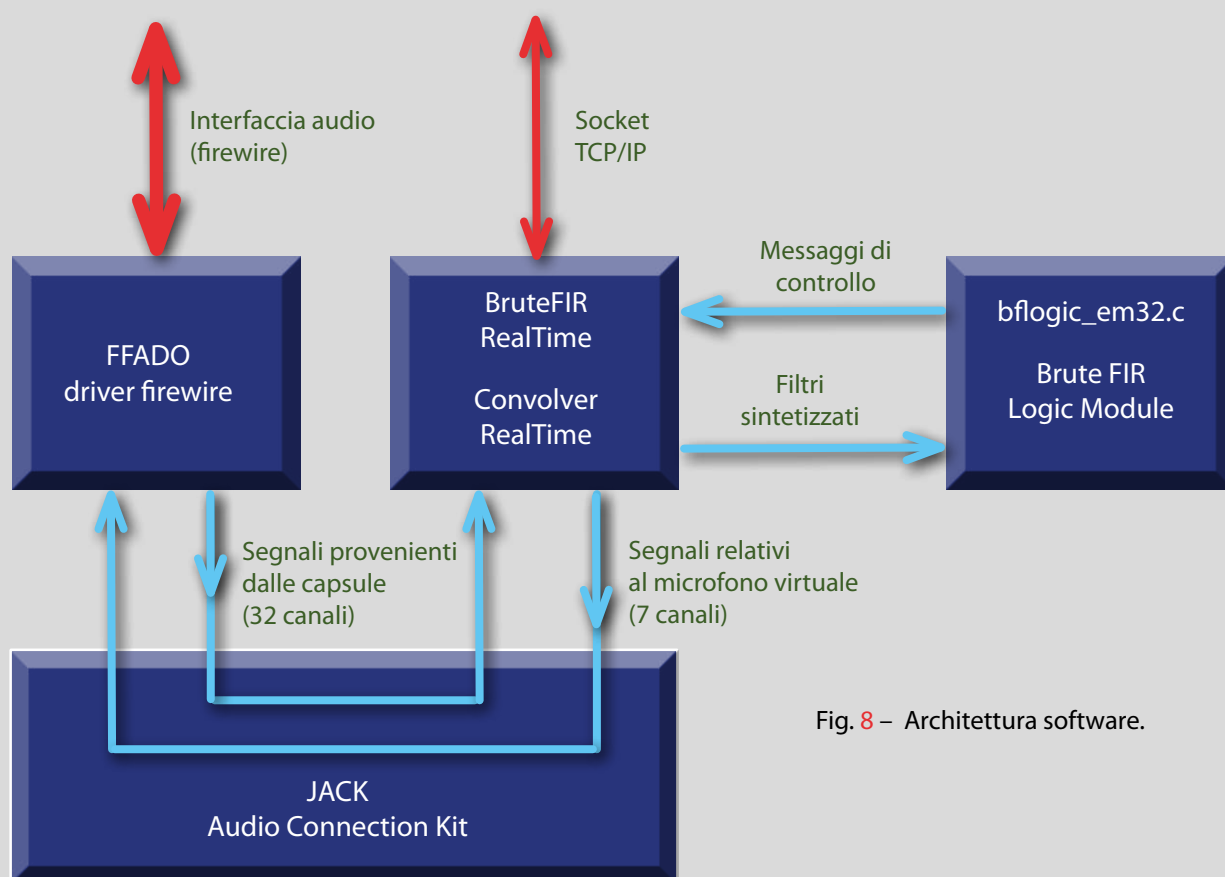



Fig. 8 – Architettura software.

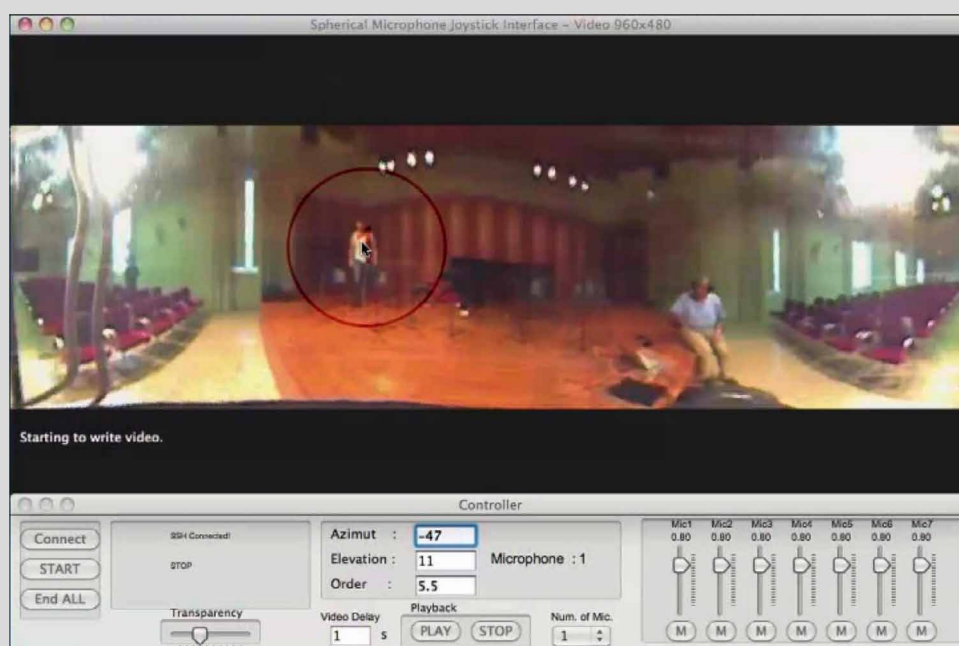



Fig. 9 – GUI. Si noti lo slider utile per regolare la trasparenza dei puntatori colorati sovrapposti all'immagine video.

Fig. 10 – Torino, 13 maggio 2010. Concerto di musica classica presso Auditorium Rai.

## 4. Esempi di applicazione e sperimentazioni

Nel capitolo precedente sono elencate le tipologie di eventi in cui il sistema può essere applicato vantaggiosamente: ripresa di orchestra , ripresa di eventi sportivi, teatrali, televisivi, radiofonici, di talk show e diffusione di una scena in un ambiente diverso da quello di ripresa.

Nel corso degli ultimi mesi sono state effettuate numerose sperimentazioni, verificando le caratteristiche del sistema nelle varie condizioni di ripresa, produzione e post-produzione. In alcuni casi sono stati messi a confronto il sistema olofonico (microfono Holophone H2Pro) ed il sistema 3D-VMS.

### 4.1 Concerto presso Auditorium

Una prova relativa alla ripresa di un concerto è stata effettuata presso l'Auditorium Rai a Torino (figura 10). La prova comparativa fra la ripresa con microfono olofonico e sistema 3D-VMS è avvenuta nel corso delle prove generali di un concerto di Sostakovich.

I due tipi di microfono sono stati posti su due aste, molto vicine tra loro.

Il risultato, con la posizione delle aste alle spalle del Direttore d'Orchestra, è risultato molto buono, presente e gradevole per entrambe le tipologie.

Il prodotto registrato con il microfono olofonico è più "squillante", ma ciò non implica necessariamente maggior gradevolezza rispetto a quello ottenuto con il sistema 3D-VMS. E' stato notato in alcuni momenti una leggera controfase sul prodotto olofonico, assente nel caso del sistema 3D VMS.

### 4.2 Concerto presso Studio Radiofonico

La ripresa è avvenuta in occasione del concerto in ricordo del terremoto de L'Aquila "Per non dimenticare", in uno Studio Radiofonico Rai.

Anche in questo caso (figura 11) la sonda microfonica era posta al centro, alle spalle del Direttore d'Orchestra. Sulla stessa staffa erano disposti una telecamera per l'interfaccia di servizio del sistema 3D-VMS ed il microfono olofonico.

Il risultato sonoro è stato soddisfacente, anche grazie all'acustica dello studio ed alla presenza del pubblico, che ha costituito un buon assorbitore.

Il giudizio sul confronto con il microfono olofonico

Fig. 11– Roma, 14 aprile 2010. Concerto di musica classica presso Studio Radiofonico Rai in Via Asiago.

è da considerarsi puramente soggettivo: il segnale olofonico è sembrato meno cupo dell'ambisonico, ma in generale meno soddisfacente.

### 4.3 Programma in Studio Televisivo

La sperimentazione di ripresa effettuata durante la realizzazione una puntata del programma Melevisione (figura 12) ha ottenuto risultati poco significativi a causa della distanza a cui ci si è posti con la sonda per non intralciare il lavoro degli addetti, infatti la scenografia, tipica del format, occupa la maggior parte dello spazio di scena.

Malgrado le condizioni non favorevoli, il suono delle voci è risultato buono, anche se in alcuni momenti "fuori fuoco".

Fig. 12– Torino, 9 settembre 2010. Programma televisivo Melevisione presso Studio TV al Centro di Produzione Rai.

Fig. 13– Torino, 21 maggio 2010. Un'immagine delle prove generali dell'opera "Boheme" presso il Teatro Regio.

## 4.4 Opera lirica: "La Bohème" al Teatro Regio

Il sistema 3D-VMS è stato utilizzato nel corso delle prove generali, presente il pubblico, de "La Bohème" al Teatro Regio di Torino (figura 13).

La sonda microfonica, per motivi di regia, è stata posta su un'asta davanti alla prima fila in platea, ma non in posizione centrale, leggermente spostata verso destra di circa 20° rispetto al centro, guardando il palcoscenico, con la fossa dei musicisti tra la sonda stessa ed il proscenio.

La sperimentazione ha consentito di verificare la possibilità, in post-produzione, di "traslare" al centro i 7 microfoni virtuali, mantenendo il rapporto spaziale tra loro.

Dal punto di vista acustico non si è ottenuto un buon risultato perché le voci dei cantanti erano molto lontane e inoltre "disturbate" fortemente dalla musica proveniente dalla fossa. Solo nel caso degli assoli le voci era riprodotte in modo più pulito, pur risultando comunque troppo distanti.

## 4.5 Teatro: "Arlecchino" al Piccolo

Purtroppo nel caso della ripresa di "Arlecchino servitore di due padroni" al Piccolo Teatro di Milano è stato possibile posizionare la sonda solo in un luogo particolarmente infelice (figura 14): in galleria in posizione laterale, con una visione del palco veramente minima, con un'apertura di circa 10°.

Il recupero dell'informazione sonora ha richiesto un impegnativo lavoro di post-produzione, durato più di due settimane. Il risultato ha superato le più rosee aspettative, è stato possibile "estrarre" il parlato dei vari attori anche nelle condizioni più critiche (di schiena, lontani dal microfono, bisbiglio).

Fig. 14 – Milano, 20 ottobre 2010. Il Piccolo Teatro e la scena di "Arlecchino, servitore di due padroni", registrato in 3D HDTV per il video e 3D-VMS per l'audio. Nella foto panoramica è visibile la sonda microfonica e valutabile la posizione inidonea ad essa assegnata.

Fig. 15 – Torino, 22 novembre 2010. Concerto presso il Salone del Conservatorio Giuseppe Verdi.

## 4.6 Concerto in Sala del Conservatorio

Durante il Concerto in re maggiore op.35 per violino e orchestra di Tchaikovsky (figura 15), l'asta con la sonda microfonica è stata posizionata al centro e alle spalle del direttore d'orchestra.

Il risultato ottenuto è stato molto soddisfacente, ha richiesto pochissimo lavoro di post-produzione.

Quando è possibile posizionare il microfono nel punto ottimale, frontale, si ottiene la miglior registrazione e l'effetto "pubblico" non risulta troppo disturbante.

## 4.7 Concerto in Studio Televisivo

"Mise en abîme" (in italiano "messa in abisso") è una composizione del M° Yuval Avital, creata per un organico strumentale e corale di massa, utilizza lo spazio come un elemento essenziale della partitura.

La Rai, in accordo e in collaborazione con il Teatro Franco Parenti, con Magà Global Arts e l'Università di Milano, ha sperimentato l'uso del sistema 3D-VMS per riprendere questa particolare composizione.

La ripresa sperimentale è stata effettuata allo Studio 3 del Centro di Produzione Rai di Milano (figura 16).

L'ensemble musicale, disposto su una circonferenza, è particolarmente articolato e complesso composto da 32 fisarmoniche, 2 fisarmoniche basse, 2 bassi tuba, 1 clarinetto basso, 1 soprano, 1 percussione e 1 didgeridoo. Il coro è costituito da oltre 100 voci di non professionisti disposti su una circonferenza esterna ed esegue una partitura alfabetica e grafica. I direttori sono quattro, due per il coro e due per gli strumenti.

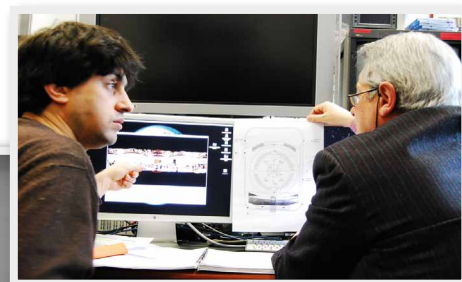



Fig. 16 – Milano, 27-28 febbraio e 1 marzo 2011. Composizione "Mise en abîme" presso lo Studio 3 del Centro di Produzione Rai. Nel riquadro il compositore, sulla sinistra, analizza le caratteristiche volute per la ripresa mediante il sistema 3D-VMS.

La sonda microfonica è stata posta al centro delle due circonferenze. Inoltre, per avere un eventuale rinforzo sonoro, si sono utilizzati ulteriori 8 microfoni cardiodi a copertura di una suddivisione ideale della scena in 8 settori.

Dalle riprese è stato realizzato un prodotto quadrifonico di buona qualità, obiettivo della sperimentazione.

### 4.8 Opera lirica: "Nabucco" a Montecitorio

Le condizioni di ripresa dell'opera il "Nabucco" presso la Camera dei Deputati di Montecitorio (figura 17) e interpretata dall'Orchestra dell'Opera di Roma diretta dal Maestro Riccardo Muti non sono state, purtroppo, ottimali.

Infatti non è stato possibile collocare la sonda microfonica al centro dell'Orchestra, come inizialmente si era ipotizzato, poiché l'asta avrebbe "impallato" la ripresa video. La sonda è stata pertanto posizionata in galleria, ad una quindicina di metri dall'Orchestra, alle spalle del Maestro.

Questa limitazione, aggiunta all'acustica non ottimale della Camera, è la causa del risultato non entusiasmante, con l'eccezione dei pieni di orchestra e del coro.

Fig. 17– Roma, 22 marzo 2011. Opera lirica "Nabucco" alla Camera dei Deputati.

### 4.9 Opera lirica: "Rigoletto" al Teatro Regio

La sperimentazione basata sulla ripresa del "Rigoletto" al Teatro Regio (figura 18) aveva l'obiettivo di valutare un'applicazione più articolata del sistema 3D-VMS.

E' stata utilizzata una sola sonda microfonica, posta all'inizio del proscenio e quasi al centro vicino alla buca del suggeritore, per ottenere la registrazione dei 32 canali. Nella fase di post-produzione sono stati sintetizzati 7 microfoni frontali, puntati verso i

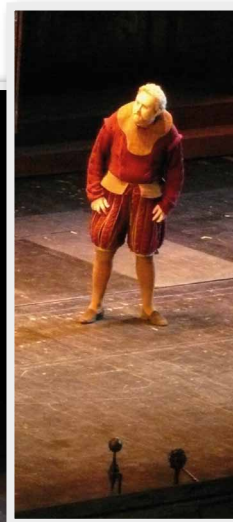



Fig. 18– Torino, 9 aprile 2011. Opera lirica "Rigoletto" al Teatro Regio.

Fig. 19– Torino, 20 aprile 2011. Opera lirica "La Traviata" al Teatro Regio.

cantanti, e, a partire dalla stessa registrazione multicanale, sono stati sintetizzati ulteriori 7 microfoni puntati in direzione opposta, verso l'orchestra. Al momento della pubblicazione di questo articolo, non è ancora stato analizzato il risultato, ma si hanno buone aspettative, sulla base della percezione in cuffia nel corso della ripresa.

### 4.10 Opera lirica: "Traviata" al Teatro Regio

Nel caso de "La Traviata" (figura 19) si sono utilizzate due sonde microfoniche: una nella stessa posizione utilizzata per il "Rigoletto", la seconda posizionata su un'asta dentro la fossa, alle spalle del Direttore d'Orchestra. Il risultato della ripresa non è ancora stato analizzato, ma si suppone, con questa configurazione, di poter ottenere una riproduzione meglio definita delle componenti sonore, cantanti e orchestra. Sarà possibile valutare i possibili problemi di fase dovute alla miscelazione delle registrazioni provenienti dalle due sonde e le eventuali implicazioni sul prodotto finale.

## 5. Conclusioni

L'obiettivo del progetto era la realizzazione di un sistema microfonico capace di sintetizzare un signifiativo numero di microfoni virtuali, per i quali fosse possibile modificare dinamicamente e in tempo reale posizione e direttività. Il sistema sviluppato consente la definizione di microfoni virtuali i cui diagrammi polari possono variare con continuità dalle tipologie standard (come ominidirezionale o cardiode) fino a cardiodi molto direttivi del 6° ordine, tipologia di direttività risultata più stretta di quella dei microfoni "a fucile".

La metodologia di progetto adottata offre significativi vantaggi:

- ✓ la possibilità di operare in un ampio intervallo di frequenze, per una data dimensione della sonda;
- ✓ correzione delle differenze costruttive delle capsule;
- ✓ correzione parziale di artefatti acustici quali effetti di mascheramento, diffrazioni e risonanze.

Particolare attenzione è posta alle caratteristiche operative, specifiche per le applicazioni previste:

- ✓ la sonda microfonica è stata adattata appositamente alle specifiche indicate per uso broadcast: il colore non è riflettente alle luci di scena, è dotata di manico per renderne assimilabile l'uso a quello di un microfono, opera alla frequenza standard professionale pari a 48 kHz.
- ✓ l'interfaccia utente (GUI) è di uso semplice.
- ✓ è in corso l'unificazione delle due unità, quella di elaborazione dei segnali e quella di controllo (utilizzata per la registrazione e l'interfaccia utente); anche l'elaborazione sarà affidata al notebook (l'attuale unità di controllo) grazie

all'incremento delle capacità di elaborazione delle CPU.

- ✓ di conseguenza è facilitata la sincronizzazione della ripresa video di servizio (necessaria per il puntamento dei microfoni virtuali) e del time-code, indispensabile per le operazioni di produzione e post-produzione.

Il sistema fornisce un approccio rivoluzionario alla ripresa del suono nel campo dei broadcaster e nelle produzioni di film e musica e le innovazioni previste comportano a breve il superamento delle attuali limitazioni, tipiche di un prodotto destinato alla sperimentazione, con miglioramenti significativi dal punto di vista operativo, tecnico e di ingombro.

L'estesa gamma di sperimentazioni ha dimostrato che, grazie alla flessibilità operativa, può trovare applicazione in produzione ed in post-produzione.

## Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione nelle riprese, edizioni e consulenze tecniche e musicali, i colleghi Rai: Enrico Cavallini e Salvatore Cangialosi del Centro Ricerche, i colleghi di Strategie Tecnologiche-Qualità Tecnica e dei Centri di Produzione TV di Milano e di Torino. Un particolare ringraziamento ai colleghi della Radiofonia della Rai di Torino, a Radio Vaticana e al Settore Tecnico Audio/Video della Camera dei Deputati di Montecitorio.

# 6 3D-VMS all'Opera

## Virtual Microphone System

Testo e figure tratti dall'articolo di Leonardo Scopece pubblicato su Elettronica e Telecomunicazioni, Agosto 2011

## 1. L'Evoluzione

Il sistema denominato 3D-VMS, basato sulla teoria Ambisonic, utilizza una sonda a più capsule per realizzare la ripresa multimicrofonica e consente di posizionare più punti di ripresa sul piano azimutale e mediano (fino a 7 microfoni virtuali).

Il sistema è oggetto di evoluzione dal punto vista sia della configurazione hardware, sia dell'interfaccia utente.

La configurazione illustrata nel capitolo precedente comprendeva una sonda microfonica collegata con l'interfaccia EMIB all'unità di elaborazione (in pratica un PC quad-core) dei segnali controllata da una console (un MacBook).

Dal punto di vista hardware, l'evoluzione del sistema consente ora di affidare ad un MacBook quad-core di svolgere sia le funzioni di unità di elaborazione sia di console che provvede alla GUI.

Questa innovazione è molto importante, sia dal punto di vista operativo, perché semplifica parecchio il compito del tecnico dedicato a gestire il sistema, sia per lo sviluppo delle potenzialità future.

Sarà possibile avere una sincronizzazione audio/video di servizio tramite due "gruppi" di segnali che viaggiano su cavo IP e sarà facilitata l'introduzione del Time Code, il codice temporale necessario alla sincronizzazione dei segnali audio provenienti dalla sonda con i segnali video provenienti dalle telecamere utilizzate durante le riprese televisive.

Le prestazioni del sistema sono state giudicate adatte per la sua utilizzazione per la ripresa dell'opera "Lucia di Lammermoor" al Teatro Regio di Torino, diffusa in diretta su Rai Radio 3 sulla rete Euroradio.

## 2. La Nuova Interfaccia

I suggerimenti dei colleghi della Produzione sono stati importanti per consentire il miglioramento notevole dell'interfaccia utente, fino a pervenire alla versione attuale. Le novità dal punto di vista operativo hanno consentito di realizzare le prove di registrazione e di montaggio e infine di adottare il sistema per la diffusione in diretta.

In figura 1 è rappresentata l'interfaccia di post-produzione che presenta, come elemento centrale, una fotografia della scena che "abbraccia" un campo visivo da 360° azimutali.

Si possono notare alcune peculiarità di cui la vecchia interfaccia non era provvista:

- ✓ la possibilità di visualizzare i minimi di guadagno dei microfoni virtuali, rappresentati come "X" (*Notch*);
- ✓ le circonferenze, che rappresentano le quantità di profondità di guadagno (la direttività), corrispondono ad una attenuazione rispetto al centro pari a 6 dB;
- ✓ è possibile andare in *Play*, *Pause* e *Stop* durante l'analisi del segnale audio, controllando il segnale in qualunque momento (a);

d - Selezione e scelta del dispositivo audio collegato al MacBook

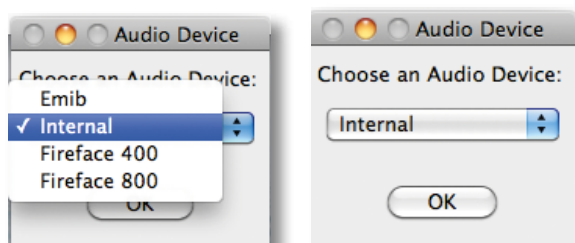
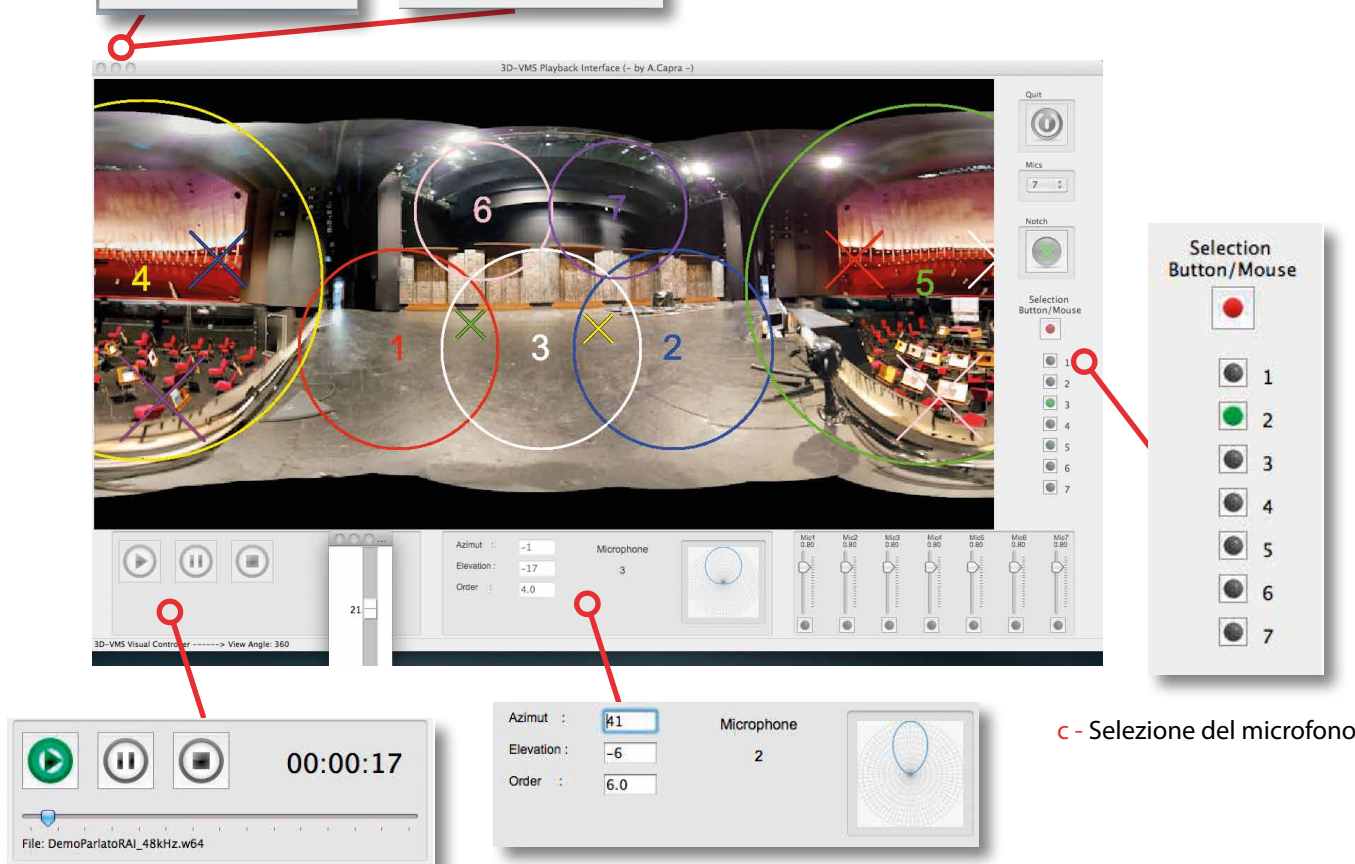
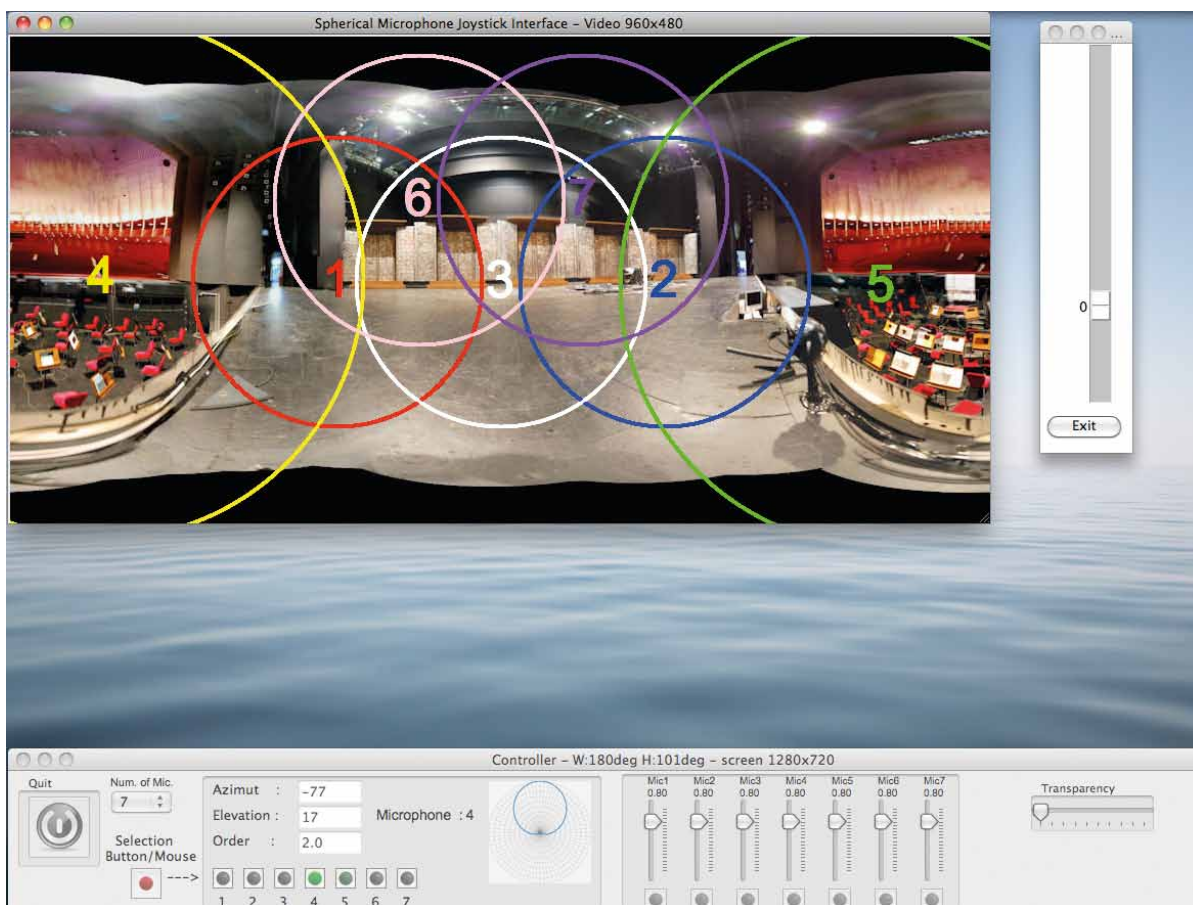



Fig. 1 – Impostazioni in post-produzione.

c - Selezione del microfono

- ✓ si può agire nei "campi" *Azimut*, *Elevation* e *Order* anche impostando direttamente i valori (b);
- ✓ attivando *Selection Button/Mouse* si seleziona uno dei microfoni in scena; nella versione precedente, essendo i cerchi vicini tra loro, poteva accadere che la selezione, e il conseguente movimento, agisse su un microfono diverso da quello voluto (c);
- ✓ si può agire sul guadagno di ingresso al Mac, nella sua funzione di registratore audio, attraverso un dosatore virtuale;
- ✓ inoltre si ha il monitoraggio dei livelli dei 32 microfoni, aprendo ad es. il software di registrazione *Plogue Bidule* e selezionando *Monitor*;
- ✓ si può scegliere il dispositivo audio da utilizzare (d), tra RME Fireface 400 o 800, EMIB o il MacBook stesso (in questo caso per due soli microfoni virtuali);

Anche l'interfaccia utente relativa al *Real-Time* è stata rivoluzionata (figura 2), dotandola di funzionalità analoghe a quelle disponibili per la post-produzione:

- ✓ è possibile scegliere il numero di microfoni con cui operare (1, 2 o 7);
- ✓ il microfono è selezionabile mediante *Selection Button/Mouse*;
- ✓ posizione e direttività del microfono è impostabile direttamente nei rispettivi campi;
- ✓ è possibile avere un'idea dello zoom impostato osservando nell'apposita finestra il diagramma polare del microfono scelto;
- ✓ il livello di registrazione è impostabile agendo su un dosatore virtuale, in modo da non rischiare di saturare il segnale portandolo in distorsione.

Fig. 2 – Impostazioni in Real-Time

## 3. I TEST

### 3.1 RIGOLETTO

La ripresa effettuata al Teatro Regio delle prove generali del "Rigoletto" di Giuseppe Verdi (figura 3) è stata realizzata con una sola sonda microfonica posta al centro, sul bordo del palco, allo scopo di riprendere sia le voci frontali, sia l'orchestra, localizzata posteriormente rispetto alla sonda.

Quando si è analizzato il risultato in post-produzione i microfoni virtuali sono stati posizionati come illustrato in figura 4.

Fig. 3 – Torino, 9 aprile 2011. Prove generali del "Rigoletto" al Teatro Regio.

Il risultato sonoro del fronte acustico del cantato è molto buono: le voci sono così "presenti" che si ha l'impressione che i cantanti siano dotati di radiomicrofono individuale. In complesso, si ha un'aria del palco non invasiva e gradevole nella giusta misura e la spazialità delle voci corrisponde al reale ed è piacevole.

Per quanto riguarda l'orchestra, invece, il risultato non è sufficiente, come d'altronde ci si aspettava. Si avverte infatti che i suoni degli strumenti non arrivano direttamente alla sonda microfonica, ma riflessi dalle pareti della fossa: non sono suoni ottenuti mediante microfoni puntati direttamente, sui percorsi delle onde sonore generate dagli strumenti musicali.

Questa esperienza ha permesso di individuare una configurazione ottimale di ripresa, messa in atto successivamente, per la "La Traviata".

### 3.2 LA TRAVIATA

Per la ripresa delle prove generali de "La Traviata" di Giuseppe Verdi (figura 5) sono state utilizzate due sonde microfoniche: una posizionata nello stesso luogo scelto per il "Rigoletto", al centro, sul bordo del palco, e una posta alle spalle del Direttore d'Or-

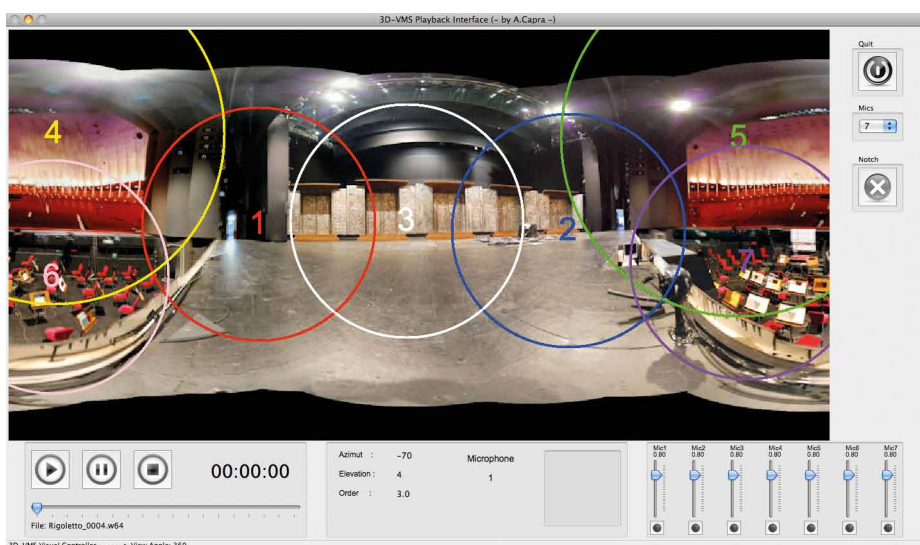



Fig. 4 – Impostazione grafica per la ripresa del "Rigoletto".

Fig. 5 – Torino, 20 aprile 2011. Prove generali de “La Traviata” al Teatro Regio.

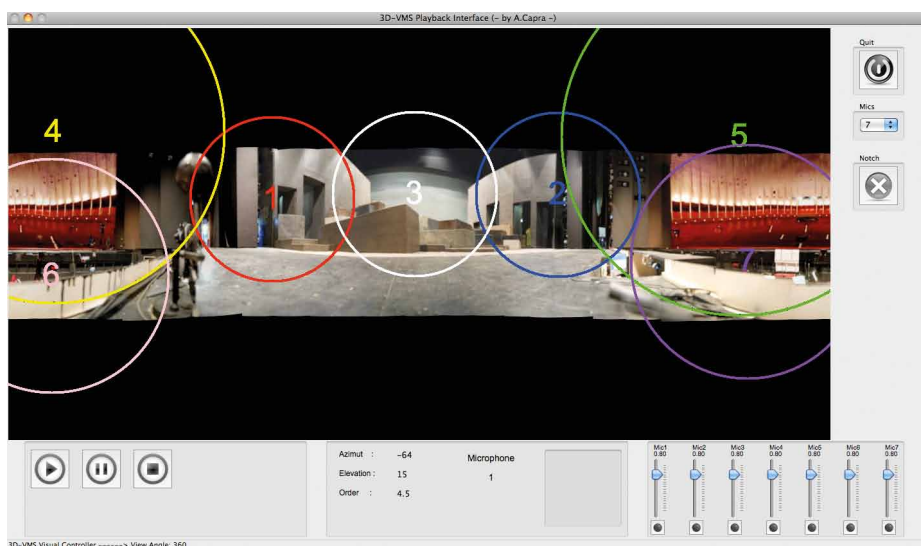



Fig. 6 – Impostazione grafica per il palco de “La Traviata”.

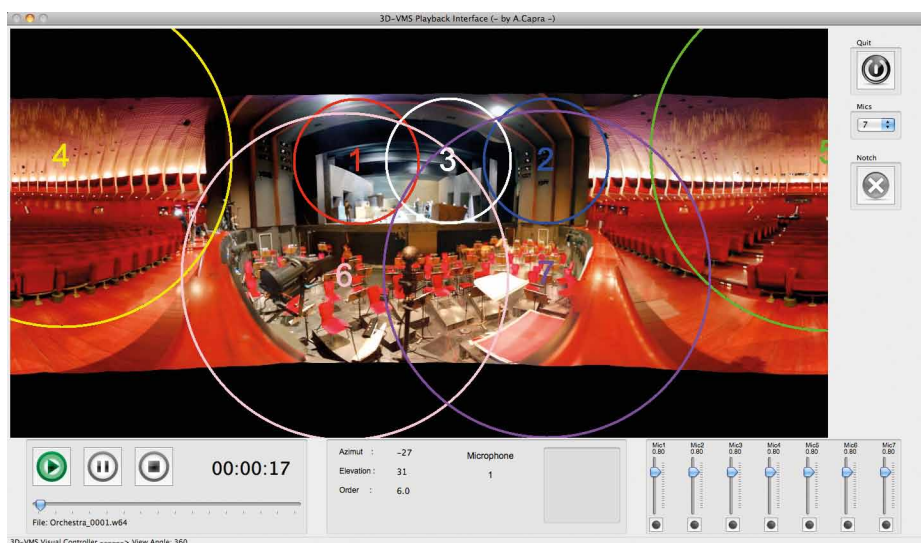



Fig. 7 – Impostazione grafica per la fossa d’orchestra de “La Traviata”.

chestra e orientata verso il centro della fossa.

Nelle figure 6 e 7 sono illustrate le impostazioni per le due sonde: quella orientata verso il palco e quella orientata verso la fossa.

Il risultato sonoro è nettamente superiore, per quanto riguarda il contributo della fossa, rispetto a quello ottenuto per il “Rigoletto”: gli strumenti sono più presenti e più “puliti”, anche se cambia indubbiamente il modo di sentire l’orchestra. Gli strumenti non vengono percepiti come se fossero singolarmente “a fuoco”, come nella tecnica di ripresa multimicrofonica, ma in modo simile all’ascolto reale, davanti all’Orchestra.

Per quanto riguarda il risultato relativo al palco, è molto buono e fornisce le stesse sensazioni precedentemente osservate.

Un potenziale problema potrebbe nascere dalla somma dei contributi delle voci sulle due sonde, influenzata dai percorsi differenti degli stessi. Dal punto di vista tecnico le sonde, poste a distanza di circa 6 metri tra di loro, riprendono lo stesso suono, ma con un certo ritardo. All’ascolto questo fenomeno non è risultato udibile, probabilmente grazie all’acustica del Teatro e al puntamento ottimale dei microfoni virtuali relativi alla fossa.

L’effetto surround è stato ottenuto utilizzando i contributi forniti dai microfoni virtuali 4 e 5 sintetizzati dalla sonda relativa al palco (figura 6), mentre non sono stati utilizzati i contributi della sonda relativa alla fossa, perché influenzati fortemente dalla superficie riflettente costituita dal muro alle spalle del Direttore.

Fig. 8 – Torino, 21 giugno 2011. "Lucia di Lammermoor" al Teatro Regio.

# 4. In onda

## 4.1 Lucia di Lammermoor

Dopo l'attenta valutazione dei risultati dei test precedentemente descritti, la Rai ha deciso di utilizzare il sistema 3D-VMS nel corso della ripresa della "Lucia di Lammermoor" di Gaetano Donizetti (figura 8).

L'opera è stata trasmessa in diretta da Rai Radio 3 ed è stata distribuita da Euroradio[Nota 1]. Infatti è uno dei 324 concerti che costituiscono l'*Euroradio Summer Festival* del 2011.

In figura 9 è riprodotta l'impostazione grafica dei microfoni virtuali definita durante le prove e mantenuta durante la diretta.

Fig. 9 – Impostazione grafica per la "Lucia di Lammermoor".

Nota 1 – Euroradio è la rete di scambio di programmi audio digitali di alta qualità dell'EBU.

Il sistema 3D-VMS è stato adottato per la ripresa del palco, mentre la ripresa dell'orchestra è stata effettuata in modalità classica multimicrofonica.

Il suono generato dal sistema 3D-VMS è pieno, piacevole, con mancanza di *fading* (graduale aumento o decremento del livello del segnale sonoro dovuto al passaggio di copertura da un microfono a quello adiacente), ottima continuità di ripresa in scena e ottima disposizione in profondità e ampiezza delle voci che si svolgono sul palcoscenico.

I segnali elaborati dal sistema 3D-VMS sono considerati alla stessa stregua di segnali provenienti da microfoni posti in scena e mixati insieme a quelli provenienti dai microfoni posti nella fossa (figura 10).

Il ritardo dei segnali elaborati dal sistema 3D-VMS rispetto a quelli reali è di 134 ms. Di conseguenza è stato introdotto un ritardo analogo sui segnali provenienti dai microfoni convenzionali.

## 5. Eventi non ancora analizzati

Citiamo due ulteriori eventi, che saranno oggetto nel prossimo futuro di analisi con il sistema 3D-VMS in post-produzione.

Il 16 maggio 2011 presso lo Studio 3 del Centro di Produzione TV Rai di Milano è stata ripresa la West-Eastern Divan Orchestra diretta dal M° Daniel Barenboim. Sono state eseguite due parti estrapolate dalla "Eroica" di Beethoven e dalla "Patetica" di Tchaikovsky, diffuse nel corso della puntata di "Che tempo che fa" condotta da Fabio Fazio su Rai 3.

La sonda microfonica è stata sospesa all'altezza dei proiettori luci sopra l'orchestra.

Il 29 giugno 2011, in collaborazione con Radio Vaticana, è stata realizzata la ripresa della celebrazione della Santa Messa da parte di Sua Santità presso la Basilica di San Pietro in Vaticano, con la partecipazione del Coro e dell'Orchestra di Santa Cecilia e del Coro della Sistina dello Stato Città del Vaticano, diretto da Don Massimo Palombella.

Le riprese audio sono state effettuate sia dalla Radio Vaticana, sia dalla Rai. La Rai ha utilizzato due microfoni 3D-VMS, e un microfono Holophone H2Pro.

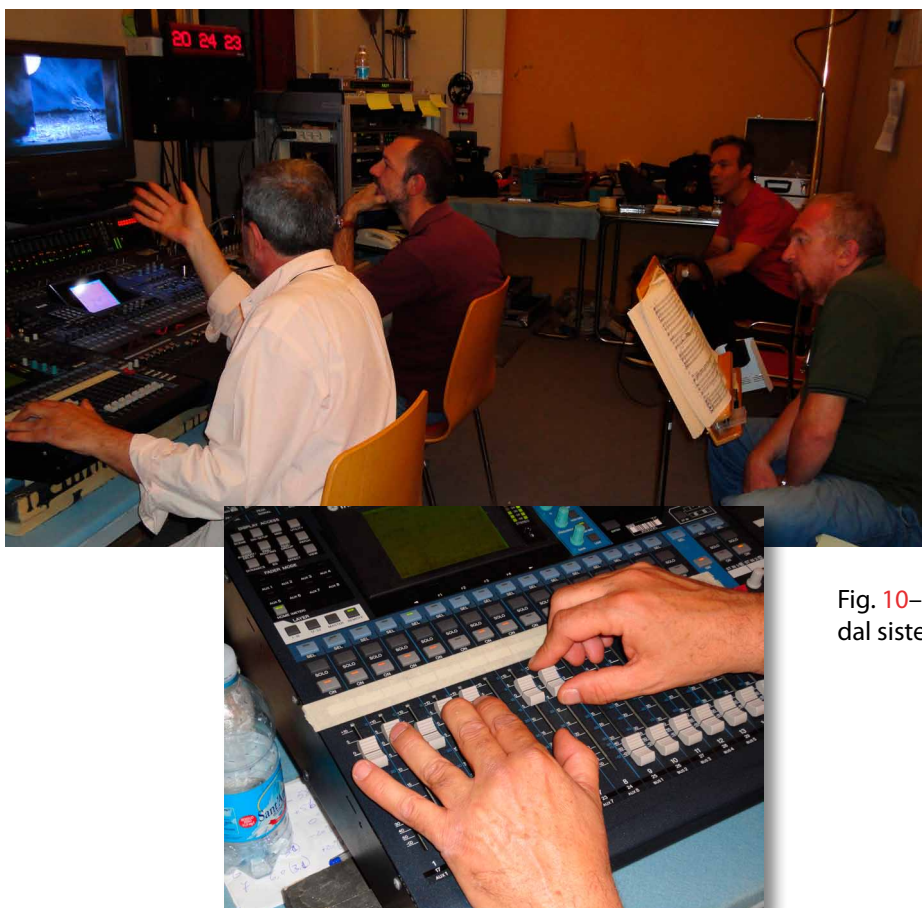



Fig. 10– Mixaggio dei 7 segnali ottenuti in live dal sistema 3D VMS e dei microfoni della fossa.

## Ringraziamenti

Un particolare ringraziamento va a tutti coloro che hanno reso possibile le riprese degli eventi oggetto di questo articolo, in particolare: la Radio Vaticana per l'organizzazione e la disponibilità presso la Basilica di San Pietro; i responsabili e i tecnici del Teatro Regio di Torino per le riprese del "Rigoletto" e de "La Traviata"; i colleghi della Rai Andrea Canino, Maurizio Trevisan, Roberto Cotto e Luca De Murtas per aver effettuato ripresa, mixaggio e messa in onda della "Lucia di Lammermoor", l'assistente musicale Felice Marenco per la valutazione dei risultati; il collega del Centro Ricerche Rai Enrico Cavallini per il supporto sugli impianti e le riprese fotografiche durante tutti i test svolti.

Il sistema 3D-VMS, basato sulla tecnica Ambisonic, è frutto della attività di ricerca effettuata dal Centro Ricerche della Rai in stretta collaborazione con il prof. Angelo Farina e l'ing.  Andrea Capra del Dipartimento di Ingegneria Industriale dell'Università di Parma.

# Bibliografia


### Relativa al Capitolo 1

- L. Scopece: "L'audio per la televisione. Manuale di audio - 1° Vol." – Gremese Editore, Roma 2008
- B. Agostino: "Sistemi di ripresa per il surround sound" – Tesi al Politecnico di Torino, luglio 2006
- R. Prosperi: "Elementi di acustica e stereofonia 2° Vol." - Ed. KLIM, Roma 1987
- L. Scopece: "Cenni di Audio" - Pubblicazione interna Rai, Roma 1996
- E. F. Alton: "Manuale di acustica" - Ed. Hoepli, Milano 2000
- Glen M. Ballou: "Handbook for Sound Engineers" - Editor, USA 1998
- "Audio Engineer's Reference Book" - Edited by Michael Talbot-Smith, Great Britain 1994
- L. Scopece, B. Agostino:"Nuove tecniche di ripresa Sonora in surround" – Relazione tecnica di Rai - Centro Ricerche, 2006
- http://www.holophone.com
- http://www.marcostefanelli.com/olofonia/suonoemo.htm
- http://cnx.org/content/m12827/latest/

### Relativa al Capitolo 5

1. A.J. Berkhout, D. de Vries, and P. Vogel, "Acoustic control by wave field synthesis", Journal of AES, 93(5):2764–2778, May 1993.
2. S. Moreau, J. Daniel, S. Bertet, "3D sound field recording with High Order Ambisonics - objective measurements and validation of a 4th order spherical microphone", 120th AES Convention, Paris, France - May 20-23, 2006.
3. F. M. Fazi, P. A. Nelson, "The ill-conditioning problem in Sound Field Reconstruction", 123rd AES Convention, New York, NY, USA - Oct.5/8, 2007.
4. A. Capra, L. Chiesi, A. Farina, L. Scopece, "A Spherical Microphone Array for Synthesizing Virtual Directive Microphones in Live Broadcasting and in Post Production," 40th AES Int. Conf.: Spatial Audio, Tokyo, Japan, 8-10 Oct. 2010.
5. http://www.mhacoustics.com

"Elettronica e Telecomunicazioni", nata nel 1952 come "Elettronica e Televisione Italiana", è una rivista quadrimestrale di Rai Eri realizzata dal Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai, sul cui sito è disponibile gratuitamente dal 2001.

Il Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica (CRIT) della Rai nasce a Torino nel 1930 come "Laboratorio Ricerche" e dal 1960 ha sede in Corso Giambone 68. Successivamente assume la denominazione "Centro Ricerche" e, dall'ottobre 1999, quella attuale.
L'attività del Centro è coordinata dalla Direzione Strategie Tecnologiche.
Alla nascita, tra i suoi obiettivi ha la progettazione e realizzazione di impianti ed apparati di nuova concezione, non reperibili sul mercato. I profondi cambiamenti nello scenario delle telecomunicazioni hanno stimolato la trasformazione del Centro.
Ha ricevuto riconoscimenti a livello internazionale per i contribuiti forniti alle attività di studio e normalizzazione dei sistemi per la codifica dei segnali audio e video in forma digitale, allo sviluppo delle tecniche di compressione dei segnali attualmente alla base dei sistemi di trasmissione e registrazione dei segnali video, alla definizione degli standard di diffusione e trasmissione DVB.
Il Centro contribuisce all'evoluzione delle tecnologie relative al sistema radiotelevisivo e multimediale e supporta il Gruppo nelle scelte di indirizzo tecnologico e nella fase di sperimentazione e introduzione in esercizio di nuovi prodotti e sistemi. E' attivo in numerosi progetti finanziati in ambito europeo e nazionale e collabora con Università e Industrie per l'attività di ricerca, per la definizione dei nuovi standard e lo sviluppo dei nuovi servizi.

Rai Radiotelevisione S.p.A.
Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica
Corso E. Giambone, 68 - I 10135 Torino
www.crit.rai.it